



DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
		N A A N	NNNNNNNNNN	NNNNNN	X A A X X	A A	NNNN
EU 311	9K			GH	RB	0007	00

Titel der Unterlage: Erläuterung der zur Dichtigkeit der alten Bohrungen und der Schachtverschlüsse geplanten Untersuchungen und Versuche. Ablaufplan des Untersuchungsprogrammes - Stand: 7/89.

Seite:
I.
Stand: 15.06.89
~~Juni 89~~

Ersteller:
PTB/ [REDACTED]

Textnummer:

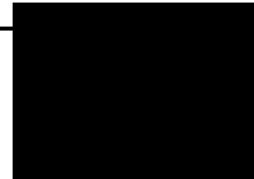
Stempelfeld:

PSP-Element TP...9K/212

zu Plan-Kapitel: 3.1.10.2 u. 4.2



23/10/89



23/10/89

Freigabe für Behörden

Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

Revisionsblatt



EU 311	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K			GH	RB	0007	00

Titel der Unterlage: Erläuterung der zur Dichtigkeit der alten Bohrungen und der Schachtverschlüsse geplanten Untersuchungen und Versuche. Ablaufplan des Untersuchungsprogrammes - Stand: 7/89

Seite: II.

Stand:
~~Juni 89~~
 15.06.89

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

Erläuterung der zur Dichtigkeit
der alten Bohrungen und der
Schachtverschlüsse geplanten
Untersuchungen und Versuche

Juni 1989



<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Unterlagen	1
3. Untersuchungsziele	2
3.1 Schachtverschluß im Bereich der Unterkreide	2
3.2 Dichtigkeit der alten Tiefbohrungen	4
4. Felduntersuchungen an den Gesteinen der Unterkreide	6
4.1 Kartierungen	6
4.2 Primärspannungsmessungen	6
4.3 Dilatometerversuche	6
4.4 Wasserdurchlässigkeits- und Injektionsversuche	7
4.5 Quellversuche in Bohrungen	8
4.6 Zerfallsuntersuchungen in Bohrungen	9
4.7 Großversuch zur Selbstabdichtung durch Quellen	10
4.8 Ultraschallmessungen	10
5. Laborversuche an den Gesteinen der Unterkreide	11
5.1 Mineralogische Untersuchungen	11
5.2 Ein- und dreiaxiale Druckversuche	11
5.3 Quellversuche im Ödometer	12
5.4 Dreiaxiale Quellversuche	12
5.5 Zerfallversuche	13
5.6 Wasserdurchlässigkeitsversuche	13
6. Laborversuche an Tonen	14
6.1 Bodenklassifizierung	14
6.2 Mineralogische Untersuchungen	14
6.3 Proctorversuche	14
6.4 Quellversuche	15
6.5 Dreiaxiale Druckversuche	15
6.6 Kompressionsversuche	15
7. Zusammenfassung	16
8. Literaturverzeichnis	16

Erläuterungen der zur Dichtigkeit der alten Bohrungen und
der Schachtverschlüsse geplanten Untersuchungen und Versuche

1. Einleitung

Im Hinblick auf die Realisierung des geplanten Endlagers KONRAD ist ein quantitativer Nachweis zu führen, daß die im Modellgebiet vorhandenen alten Tiefbohrungen ausreichend abgedichtet sind und die Schächte nach Beendigung der Betriebsphase den Anforderungen entsprechend verschlossen werden können. Um diese Ziele erreichen zu können, ist es notwendig, die felsmechanischen Eigenschaften des Baugrundes sowie die Phänomene des Quellens und Zerfalls der anstehenden Unterkreidetonsteine genauer zu erkunden.

Hierzu wurde vom Unterzeichnenden die Herstellung von zwei Versuchsstrecken vom Schacht Konrad 2 aus sowie die Durchführung eines Untersuchungsprogramms empfohlen. Nachfolgend werden die Untersuchungsziele und die geplanten Versuche im einzelnen erläutert.

2. Unterlagen

Im Zusammenhang mit dem o.g. Thema wurden vom Unterzeichnenden bereits einige Erläuterungen und Stellungnahmen verfaßt:

- 2.1 Vorschlag für ein Untersuchungsprogramm zur Konvergenz der alten Tiefbohrungen infolge Quellen der Unterkreidetonsteine; Aachen, 23.11.1988
- 2.2 Quantitativer Nachweis der Dichtigkeit verfüllter Tiefbohrungen im Modellgebiet KONRAD; Aachen, 20.02.1989

- 2.3 Natürliche Barriere im Schachtverschlußsystem für die Schächte Konrad 1 und 2; Aachen, 10.03.1989
- 2.4 Begründung der Notwendigkeit der aus dem Schacht Konrad 2 herzustellenden Untersuchungsstollen; Aachen, 13.03.1989
- 2.5 Stellungnahme zur Durchführbarkeit von Feldversuchen in tiefen Bohrlöchern (300-600 m); Aachen, 04.04.1989
- 2.6 Stellungnahme zur Standsicherheit des Schachtes Konrad 2 nach der Wiederverfüllung der Untersuchungsstrecken; Aachen, 08.05.1989
- 2.7 Stellungnahme zur Durchführung der WD-Tests in den Untersuchungsstrecken; Aachen, 08.05.1989
- 2.8 Dichtigkeit der alten Bohrungen und der Schachtverschlüsse; Aachen, 30.05.1989
- 2.9 Schachtverschluß: Konzept- und Systembeschreibung; Fassung vom 06.06.1989

3. Untersuchungsziele

3.1 Schachtverschluß im Bereich der Unterkreide

Die Schächte Konrad 1 und 2 sollen nach Beendigung der Betriebsphase im Bereich der Unterkreide durch Einfüllen von Ton oder einem Ton-Sand-Gemisch verschlossen werden. Der Nachweis der geforderten Dichtigkeit ist allerdings nicht nur für die Tonverfüllungen selbst sondern auch für die die Schächte umgebende Auflockerungszone im Fels zu führen.

Das Prinzip der geplanten Schachtabdichtung ist auf Anlage 3.1 skizziert. Es ist vorgesehen, die Schachtausmauerung und einen Teil der ihn umgebenden Auflockerungszone abschnittsweise zu entfernen und

den Ton lagenweise mit erdbautechnischen Verfahren einzubringen (vgl. Unterlagen 2.8 und 2.9). Die in der verbleibenden Auflockerungszone vorhandenen injizierbaren offenen Risse und Klüfte sollen parallel dazu über systematisch angeordnete Bohrungen mit Tonsuspension verpreßt werden. Im Abstand von wenigen Metern vom Schachtrand kann das Gebirge als ungestört und "dicht" angenommen werden.

Die geforderte Dichtigkeit des Schachtverschlusses wird nach unserer Vorstellung dadurch erreicht, daß die eingebrachte Füllsäule aus Ton mit zunehmender Füllhöhe durch den aus dem Eigengewicht und der Querdehnung resultierenden Erddruck sowie durch nachträgliches Quellen einen auf die Schachtwandungen nach außen gerichteten Druck ausübt. Dieser auf die Schachtwandung wirkende Druck ermöglicht dann eine Selbstabdichtung der nicht injizierbaren kleinen Risse in der Auflockerungszone durch Quellen der Unterkreidetone. Die Tonverfüllung verhindert dabei eine unbegrenzte Ausdehnung des Gebirges am innenliegenden Rand der Auflockerungszone, so daß sich im Fels ein Quelldruck aufbauen kann, und durch die damit verbundenen Quelldehnungen offene kleine Risse in der Auflockerungszone geschlossen werden.

Der in den Schacht eingefüllte Ton (bzw. Ton-Sand-Gemisch) muß besondere Eigenschaften aufweisen, damit die sich im Regelfall einstellende Silowirkung weitgehend vermieden wird. Gegebenenfalls ist es sogar zweckmäßig, entlang der Schachtwandungen eine Gleitschicht z.B. aus Bentonit vorzusehen (Anlage 3.1). Die Durchlässigkeit und die mechanischen Eigenschaften des Tones hängen wesentlich von der Kornverteilung, den enthaltenen Tonmineralen und dem Wassergehalt ab. Die erforderlichen Eigenschaften des Tones, die sich u.a. auch aufgrund von statischen Berechnungen ergeben, sind in Laborversuchen zu testen.

Im Hinblick auf die Selbstabdichtung des Gebirges im Bereich der die Schächte umgebenden Auflockerungszonen sind zunächst deren Ausdehnung und Wasserdurchlässigkeit festzustellen. Die Größe der Auflockerungszonen läßt sich mit Hilfe von FE-Berechnungen interpretie-

ren. Dazu müssen allerdings zuvor die mechanischen Eigenschaften des Gebirges wie Verformbarkeit (E, ν) und Festigkeit (c, ν) ermittelt werden. Außerdem muß der im ungestörten Gebirge vorhandene Primärspannungszustand bekannt sein. Zur Ermittlung der Größe der Quelldehnungen, die bekanntlich spannungsabhängig sind, werden die das Quellverhalten des Gesteins beschreibenden Parameter sowie die Elastizitätskonstanten (E, ν) und die Primärspannungen des Gebirges benötigt. Mit diesen Angaben läßt sich die Selbstabdichtung des Gebirges in der Auflockerungszone in Modellberechnungen mit Hilfe der FE-Methode simulieren. Die Verifizierung der Selbstabdichtung durch Quellen soll in Großversuchen in den geplanten Versuchsstrecken überprüft werden.

Die Injizierbarkeit des Gebirges im Bereich der Auflockerungszone hängt von der Größe der Öffnungsweiten der vorhandenen Risse, der Zusammensetzung des Injektionsgutes und dem Verpreßdruck ab. Erste Hinweise auf die Häufigkeit von Rissen und deren Öffnungsweiten werden bei den Kartierungen der Hohlraumwandungen beim Ausbruch der Versuchsstrecken gewonnen. In von den Versuchsstrecken aus hergestellten Bohrungen soll die Injizierbarkeit des Gebirges mit Hilfe von WD-Tests und Einpressungen von Ton- bzw. Bentonitsuspensionen getestet werden.

3.2 Dichtigkeit der alten Tiefbohrungen

Bezüglich der Dichtigkeit der im Modellgebiet KONRAD liegenden alten Tiefbohrungen wird die Hypothese vertreten, daß die ungesicherten Bohrlöcher im Bereich der Unterkreidetonsteine nicht standsicher sind und nachbrechen. Kalibermessungen in der Bohrung Konrad 101 unterstützen diese Annahme. Das nachfallende Gestein zerfällt, sedimentiert und quillt bei Wasserlagerung und dichtet dadurch das Bohrloch ab.

Das Prinzip der Selbstabdichtung der alten Tiefbohrungen ist auf Anlage 3.2 skizziert. Es wird davon ausgegangen, daß die Bohrlöcher mit Wasser gefüllt sind und dadurch in einer begrenzten Zone um den

Hohlraum herum allmählich eine Wassersättigung des Gesteins eintritt. Als Folge davon verringert sich die Gesteinsfestigkeit, die Kohäsion (c) geht gegen null und der innere Reibungswinkel (φ) nimmt ebenfalls ab. Dieser Vorgang wird im Bereich der Unterkreidetonsteine wahrscheinlich noch durch das Quellen des Gesteins beschleunigt. Infolge des Festigkeitsverlustes bricht das Gestein aus den Bohrlochwandungen örtlich heraus, zerfällt, sinkt im Bohrloch ab und sedimentiert. Auf diese Weise wird das Bohrloch verschlossen. Da das nachfallende Gestein aus den Unterkreideschichten und im Bereich der Unterkreide auch das das Bohrloch umgebende Gestein quellfähig sind, bildet sich parallel zum Zerfall und zur Sedimentation im gefüllten Bohrloch ein Quelldruck aus, wodurch die Abdichtung der Bohrung noch begünstigt wird.

Die Untersuchungen zur Selbstabdichtung der alten Tiefbohrungen sollen auf verschiedene Weise geführt werden. Zunächst ist festzustellen, unter welchen Bedingungen das Bohrloch nicht standsicher ist und der Zerfall des Gesteins eintritt. Dazu ist es notwendig, die die Standsicherheit der Bohrlöcher beeinflussenden Gebirgs- und Gesteinskennwerte zu kennen. Dies sind im wesentlichen die Gesteinsfestigkeit (c, φ), die Quellparameter, die Verformbarkeit (E, ν) des Gebirges sowie die im Gebirge herrschenden Primärspannungen, die in Labor- und Feldversuchen bestimmt werden müssen. Außerdem ist das Phänomen des Gesteinszerfalls zu untersuchen. Zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes und der mechanischen Eigenschaften des zerfallenen Gesteins sind ergänzende Laborversuche geplant. Auf der Grundlage der festgestellten Kennwerte für das Gestein und den Fels sowie der Quell- und Zerfallsuntersuchungen wird die Standsicherheit der Bohrungen und deren Zuquellen mit Hilfe von Berechnungen nach der FE-Methode untersucht. Die Ergebnisse der theoretischen Überlegungen und rechnerischen Untersuchungen sollen schließlich im 1:1 Versuch in Bohrlöchern mit Hilfe von Kalibermessungen, Fernsehsondierungen und Wasserdurchlässigkeitsversuchen unter Süß- und Salzwasserbedingungen überprüft und nachgewiesen werden.

4. Felduntersuchungen an den Gesteinen der Unterkreide

4.1 Kartierungen

Die Wände, Firste und Sohle in den Versuchsstrecken sowie die aus den Bohrungen gewonnenen Kerne sollen baubegleitend im Detail nach felsmechanischen Gesichtspunkten kartiert werden. Beispielhaft ist in Anlage 4.1 die Kartierung einer Felswand dargestellt. Alle sichtbaren Trennflächen oder Risse werden abgezeichnet und ihre Raumstellungen eingemessen. Die Beschaffenheit der Trennflächen und deren Öffnungsweiten werden dabei ebenfalls erfaßt. Die Ergebnisse werden statistisch ausgewertet.

4.2 Primärspannungsmessungen

Zur Bestimmung des Primärspannungszustandes im Gebirge sollen in einer der drei Vertikalbohrungen, die in größerer Entfernung vom Schacht 2 in der Sohle der Versuchsstrecken vorgesehen sind, in verschiedenen Teufen Spannungsmessungen nach der Überbohrmethode durchgeführt werden (Anlage 4.2). Bei diesen Versuchen, die im Zuge des Abteufens der Bohrung durchgeführt werden, wird von der jeweiligen temporären Bohrlochsohle aus ein koaxiales Pilotloch gebohrt, dessen Durchmesser und Länge sich nach der Ausführung der einzusetzenden Meßsonde (z.B. BGR-Sonde, Triaxialzelle) richtet. Nach dem Einsetzen der Meßsonde wird die Pilotbohrung mit einem Doppelkernrohr überbohrt und die aus der Entspannung resultierenden Dehnungen oder Radialverschiebungen des Kerns gemessen. Für die Auswertung der Versuche ist die Kenntnis der Elastizitätskonstanten des Gesteins erforderlich. Literatur: z.B. [1], [2], [3], [4].

4.3 Dilatometerversuche

In den Teufenbereichen, in denen die Primärspannungsmessungen vorgesehen sind, sollten wenn möglich auch Dilatometerversuche durchgeführt werden, die eine Ermittlung der elastischen Konstanten des Gebirges erlauben. Bei diesen Versuchen wird ein bereits abgeteuftes

Bohrloch durch Aufbringen eines Innendruckes über eine bestimmte Länge, die von der einzusetzenden Sonde abhängt, in radialer Richtung aufgeweitet. Dabei werden die Durchmesseränderungen gemessen (Anlage 4.3). Für isotropen Fels kann die Auswertung der Versuche nach der in Anlage 4.3 angegebenen Beziehung erfolgen. Wie bei den Primärspannungsmessungen richtet sich der für die Durchführung von Dilatometerversuchen erforderliche Bohrdurchmesser nach der einzusetzenden Meßsonde. Dies wird bei der Herstellung der Bohrungen berücksichtigt. Literatur: z.B. [4], [5], [6], [7], [8].

4.4 Wasserdurchlässigkeits- und Injektionsversuche

In der unmittelbaren Umgebung des Schachtes 2 sind die in-situ-Durchlässigkeit und die Injizierbarkeit des aufgelockerten bzw. mit längeren Rissen durchzogenen Gebirges zu untersuchen. Die Durchlässigkeit soll mit Hilfe von WD-Tests überprüft werden, wobei aus Gründen der Zuverlässigkeit der Meßergebnisse die in Anlage 4.4 dargestellte stufenweise Durchführung einzelner Versuche empfohlen wird. Beim WD-Test, dessen Prinzip und Auswertung in Anlage 4.5 dargestellt ist, wird innerhalb eines durch einen Packer abgedichteten Bohrlochabschnitts Wasser mit Hilfe einer in der Versuchsstrecke installierten Pumpe mit einem bestimmten Druck (etwa 2 bis 10 bar) in das Gebirge gepreßt und die dabei abfließende Wassermenge registriert. Bei Annahme einer laminaren Strömung in den das Gestein durchziehenden Rissen kann die Durchlässigkeit näherungsweise nach der in Anlage 4.5 angegebenen Gleichung ermittelt werden.

Die Injektionsversuche sollten im gleichen Bohrloch, in dem die WD-Tests vorgesehen sind, nach Erreichen der planmäßigen Bohrlochtiefe ebenfalls abschnittsweise, allerdings von unten nach oben durchgeführt werden (Anlagen 4.6). Die Versuchsdurchführung erfolgt prinzipiell in der gleichen Weise wie beim WD-Test. Aufgrund der gegenüber Wasser geringfügig veränderten Fließeigenschaften der Ton- bzw. Bentonit-Suspensionen (höhere Viskosität) sind beim Injektionsversuch allerdings etwas höhere Verpreßdrücke erforderlich. Mit Hilfe der bei den Injektionsversuchen registrierten Verpreßmengen las-

sen sich Aussagen über die Injizierbarkeit bzw. Dichtigkeit der schachtnahen Auflockerungszone treffen. Literatur: z.B. [4], [9], [10], [11], [12].

4.5 Quellversuche in Bohrungen

Um das Quellverhalten der Tonschluffsteine der Unterkreideschichten und damit die Abdichtung der alten Tiefbohrungen beurteilen zu können, sind in den in größerer Entfernung vom Schacht 2 liegenden Vertikalbohrungen in-situ-Quellversuche vorgesehen.

Mit diesen Versuchen sollen die Quelldehnung und der Quelldruck unter dem in der jeweiligen Teufe herrschende Primärspannungszustand ermittelt werden. Anlage 4.7 zeigt den Ablauf eines einfachen Feldversuchs zur Bestimmung der Bohrlochkonvergenz infolge Quellen. Nach dem Abteufen einer Kernbohrung mit Luftspülung wird zunächst das Bohrloch mit einer Kalibersonde befahren und der Bohrdurchmesser in verschiedenen Teufen ermittelt. Anschließend wird das Bohrloch mit Süß- bzw. Salzwasser bewässert und in regelmäßigen Zeitabständen wiederum mit der Kalibersonde befahren. Die zeitliche Veränderung des Bohrlochdurchmessers liefert ein Maß für die Quelldehnung des Gesteins. Dieser Versuch eignet sich in gleicher Weise für eine Abschätzung der Zerfallseigenschaften der Unterkreidegesteine und damit der Stabilität einer unverrohrten Bohrung (vgl. Abschnitt 4.6).

Um alternativ den bei Wasserzutritt in den Gesteinen der Unterkreide sich aufbauenden Quelldruck abschätzen zu können, wird ein Feldversuch wie in Anlage 4.8 skizziert vorgeschlagen. Nach dem Abteufen wird das unverrohrte Bohrloch mit Wasser gefüllt und unmittelbar danach ein Spannungsmeßgerät eingebaut. Als für diese Versuche besonders geeignet wird ein Pressiometer angesehen, bei dem eine Kautschukblase mit Hilfe einer Druckflüssigkeit gegen die Bohrlochwand gedrückt wird. Durch Messung des quellbedingten Druckanstieges in der Kautschukblase bei konstantem Volumen kann auf den radial wirkenden Quelldruck aus dem Gebirge geschlossen werden. Alternativ zum Pressiometer ist der Einsatz von biaxialen Spannungsmeßgeräten

denkbar, die von verschiedenen Meßgeräteherstellern (z.B. Scanrock u. Maihak) angeboten werden. Wie bei den Primärspannungs- und Dilatometerversuchen ist eine Abstimmung des Bohrdurchmessers auf das für die Versuchsdurchführung gewählte Meßgerät erforderlich. Literatur: z.B. [7], [13].

4.6 Zerfallsuntersuchungen in Bohrungen

Die Tonsteine der Unterkreide neigen bei Wasserzutritt je nach der Mineralzusammensetzung unterschiedlich stark zum Zerfall. Dadurch kann es bei unverrohrten Bohrlöchern zu einer Instabilität der Bohrlochwandung kommen. Um den Grad des Zerfalls auch quantitativ erfassen zu können, sind in den weiter vom Schacht entfernten Vertikalbohrungen In-situ-Untersuchungen vorgesehen. Neben dem bereits in Abschnitt 4.5 (vgl. Anlage 4.7) vorgeschlagenen Messungen mit der Kalibersonde sollten zur visuellen Beurteilung der Standsicherheit des Bohrlochs Befahrungen mit einer Fernsehsonde durchgeführt werden (Anlage 4.9). Anlage 4.10 zeigt das Prinzip einer Fernsehsondierung.

Wichtig für die Beurteilung der Dichtigkeit der alten Tiefbohrungen ist die Kenntnis der Durchlässigkeit des in nicht standsicheren Bohrlöchern sedimentierten Nachfallmaterials. Um diese Durchlässigkeit abschätzen zu können, wird ein einfacher Feldversuch in einer der Vertikalbohrungen außerhalb der Auflockerungszone vorgeschlagen, der in Anlage 4.11 skizziert ist. Nach dem Abteufen der Bohrung wird in das unverrohrte Bohrloch ein PVC-Rohr eingesetzt, das in eine Filterschicht am Fuß des Bohrloches einbindet. Anschließend wird die Bohrlochtiefe registriert und das Bohrloch mit Wasser gefüllt. Neigen die entlang des Bohrlochs anstehenden Gesteine zum Zerfall, so wird sich das Bohrloch allmählich mit Nachfallmaterial füllen. In bestimmten Zeitabständen lassen sich dann einfache Durchströmungsversuche (von unten nach oben) in dem sedimentierten Nachfallmaterial durchführen, indem man in dem PVC-Rohr ein höheres Druckpotential erzeugt als im Bohrloch und die pro Zeiteinheit eintretende Wassermenge mißt. Falls möglich sollen in dieser Bohrung auch Kaliber- bzw. Fernsehsondierungen durchgeführt werden. Literatur: z.B. [13].

4.7 Großversuch zur Selbstabdichtung durch Quellen

Um die Wahrscheinlichkeit der im Abschnitt 3.1 beschriebenen Selbstabdichtung der Auflockerungszone nach dem Verschließen des Schachtes mit Ton beurteilen zu können, ist in der Sohle der Versuchsstrecke im Bereich der Auflockerungszone ein Großversuch vorgesehen. Mit diesem Versuch soll eine Veränderung der Durchlässigkeit des Felses infolge Quellen im Bereich der Auflockerungszone untersucht werden. Dazu soll zunächst, wie in Anlage 4.12 skizziert, in der Sohle der Versuchsstrecke in einem Bereich, in dem größere Risse deutlich sichtbar sind, ein kreisförmiger Probekörper herausgearbeitet werden. Dieser Probekörper wird anschließend aus Gründen der Stabilität mit einem Stahlring umgeben und der Zwischenraum zwischen Stahlring und Probekörper mit einem Kies-Sand-Gemisch verfüllt und verdichtet (Anlage 4.13). Dabei sollten zur späteren Messung von Radialdrücken im Probekörper gleichmäßig über den Umfang verteilt Druckmeßdosen eingebaut werden. Anschließend wird im Probekörper eine zentrische Bohrung hergestellt, wobei die Verrohrung geringfügig in den Probekörper einbindet. Die Bewässerung des Probekörpers erfolgt von der zentrischen Bohrung und von dem mit Kies-Sand-Gemisch verfüllten Außenbereich aus, wobei in der Bohrung ein größeres Druckpotential erzeugt wird als am Rand der Probe. Dadurch kommt es bevorzugt entlang der Risse im Probekörper zu einer Sickerströmung von innen nach außen. Kommt es innerhalb des Probekörpers zu Quelldehnungen, so werden sich im Laufe der Zeit die Öffnungsweiten der Risse und die durch die zentrische Bohrung zuzuführende Wassermenge und damit auch die Durchlässigkeit des gesamten Probekörpers verringern.

4.8 Ultraschallmessungen

In zwei oder drei von der Versuchsstrecke aus abzuteufenden horizontalen bzw. flach geneigten Bohrungen, die in einem horizontalen Abstand von etwa 0,5 m bis 1,0 m innerhalb der Auflockerungszone angeordnet sind, sollen Durchschallungsmessungen durchgeführt werden. Bei diesen Versuchen werden zwischen den einzelnen Bohrungen in verschiedenen Abständen vom Bohrlochmund die Schallgeschwindigkeiten

gemessen. Durch Auswertung der Geschwindigkeitsprofile ist es möglich, Auflockerungszonen zu erkennen und in ihrer Ausdehnung abzuschätzen. Literatur: z.B. [14], [15], [16].

5. Laborversuche an den Gesteinen der Unterkreide

5.1 Mineralogische Untersuchungen

An aus den Bohrkernen entnommenen Gesteinsproben werden mineralogische Laboruntersuchungen durchgeführt, sie bestehen aus einer makroskopischen Gesteinsansprache, einer mikroskopischen Analyse, dem röntgenografischen Nachweis des Gesamtmineralbestandes und der quellfähigen Tonminerale sowie einer Porenraumanalyse. Die makroskopische Gesteinsansprache umfaßt Angaben zur Farbe, Struktur, Textur und zum Gesteinszustand. Aus der mikroskopischen Analyse ergeben sich die Anteile der verschiedenen Minerale am Gesamtbestand. Außerdem kann eine detaillierte Ansprache der Struktur und Textur des Korngefüges anhand von REM-Darstellungen erfolgen. Die röntgenografischen Untersuchungen liefern die Hauptmineralanteile und eine Aussage über die Quellfähigkeit der vorkommenden Tonminerale. Mit der Porenraumanalyse werden die Gesamtporosität des Gesteins sowie die Radien der im Gestein vorhandenen Poren und ihre relative Häufigkeit ermittelt.

5.2 Ein- und dreiaxiale Druckversuche

Einaxiale Druckversuche an Gesteinsproben dienen der Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit und der Elastizitätskonstanten des Gesteins. Dazu werden zylindrische Proben in axialer Richtung mit konstanter Dehnungsgeschwindigkeit bis zum Bruch belastet und dabei die axialen und radialen (bzw. tangentialen) Dehnungen gemessen (Anlage 5.1). Ein qualitatives Ergebnis eines einaxialen Druckversuchs an isotropem Gestein ist in Anlage 5.1 unten dargestellt. Aus der Spannungsdehnungslinie können in der angegebenen Weise der E-Modul und die Poisson-Zahl sowie die einaxiale Druckfestigkeit ermittelt werden. Zur statistischen Auswertung ist eine Reihe von Einzelversuchen durchzuführen.

Die Scherfestigkeit eines isotropen Gesteins läßt sich in einem dreiaxialen Druckversuch ermitteln (Anlage 5.2). Hierbei werden ebenfalls gerade, kreiszylindrische Proben zunächst unter einem hydrostatischen Spannungszustand komprimiert. Anschließend wird bei konstanter Radialspannung die Axialspannung dehnungsgesteuert bis zum Bruch der Probe gesteigert. Mit einer Serie von mindestens drei Einzelversuchen an Proben aus dem gleichen Gestein lassen sich die Scherparameter in der in Anlage 5.2 unten skizzierten Weise ermitteln.

5.3 Quellversuche im Ödometer

Der Quellversuch im Labor dient der Bestimmung der Quelleigenschaften von Gesteinsproben. Die in der Praxis häufig angewandten Versuchsarten sind der Quellversuch nach [REDACTED] der Quelldruckversuch und der Quellhebungsversuch, die sämtlich in einem Kompressionsgerät (Ödometer) durchgeführt werden. Ihre Durchführung erfolgt in Anlehnung an die Empfehlung Nr. 11 des Arbeitskreises 19 der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau (DGEG). Das Versuchsprinzip und ihre -auswertung sind beispielhaft in den Anlagen 5.3 bis 5.5 dargestellt. Während beim Quellversuch von [REDACTED] die bei veränderlicher Belastung auftretenden Quelldehnungen ermittelt werden, wird in den beiden anderen Versuchen jeweils eine der beiden Größen (Belastung/Dehnung) konstant gehalten. Mit der Durchführung von Quellversuchen sollte möglichst frühzeitig begonnen werden, da diese Versuche in der Regel eine lange Versuchsdauer erfordern.

5.4 Dreiaxiale Quellversuche

Beim Quellversuch im Kompressionsgerät wird in der Probe ein Spannungszustand erzeugt, wie er sich näherungsweise im ungestörten Gebirge infolge des Eigengewichtes einstellt. Um auch davon abweichende Spannungszustände in der unmittelbaren Umgebung von Bohrlöchern nachzuvollziehen, sollen zusätzliche Laborversuche zum Quellverhalten des Gesteins durchgeführt werden, bei denen die Horizontal- und Vertikalspannungen unabhängig voneinander aufgebracht wer-

den können und dabei auch das Bohrloch mit berücksichtigt wird. Mögliche Versuchsanordnungen sind in Anlage 5.6 in Form von Prinzipskizzen dargestellt. Dabei wird eine Kernprobe mit zentrischer Bohrung in ein Dreiaxialgerät eingebaut und mit einem konstanten äußeren Spannungszustand belastet. Die Bewässerung der Probe kann über das Porenwasserdruckmeßsystem durch die zentrische Bohrung erfolgen. Wie bei den in Abschnitt 5.3 beschriebenen Laborversuchen sollte entweder der durch das Quellen des Gesteins hervorgerufene Druck (behinderte Bohrlochkonvergenz) oder die Dehnung (unbehinderte Bohrlochkonvergenz) gemessen werden.

5.5 Zerfallversuche

Die in den Bohrungen der Versuchsstrecken vorgesehenen Feldversuche zur Abschätzung der Zerfallseigenschaften der Unterkreidesteine sollen durch entsprechende Modellversuche im Labor ergänzt werden. Dazu kann, wie in Anlage 5.7 skizziert, die Versuchseinrichtung eines Dreiaxialversuches verwendet werden. Eine Kernprobe mit zentrischer Bohrung wird in das Versuchsgerät eingebaut, mit einem äußeren konstanten Spannungszustand belastet und von der zentrischen Bohrung aus bewässert. In bestimmten Zeitabständen wird die Kernprobe ausgebaut und der Zustand der Bohrlochwand visuell beurteilt. Zusätzlich läßt sich der Grad und die Geschwindigkeit, mit der das untersuchte Gestein zerfällt, ermitteln.

5.6 Wasserdurchlässigkeitsversuche

Für den Nachweis der Dichtigkeit der alten Tiefbohrungen ist es wichtig, die Durchlässigkeit der Unterkreidesteine im zerfallenen und gequollenen Zustand zu kennen. Als entsprechender Laborversuch bietet sich ein Durchlässigkeitsversuch an, wie er in der Bodenmechanik an stark durchlässigen Böden durchgeführt wird (Darcy-Versuch, vgl. Anlage 5.8). Dazu wird zerfallenes oder künstlich zerkleinertes Gesteinsmaterial der Unterkreideschichten in einem Plexiglaszylinder eingebaut. Die so entstandene zylindrische Probe wird von unten nach oben durchströmt. Der Durchlässigkeitsbeiwert wird

nach der in Anlage 5.8 angegebenen Beziehung ermittelt. Ist das zerfallene Gestein bei Versuchsbeginn noch nicht gequollen, so läßt sich eine mit dem Quellen veränderliche Durchlässigkeit der Probe während der Dauer des Laborversuches ermitteln.

6. Laborversuche an Tonen

6.1 Bodenklassifizierung

Die Eignung des für die Schachtabdichtung in Frage kommenden Tones wird anhand der für Lockergesteine gültigen DIN-Normen getestet. Zur Bodenklassifikation nach DIN 18196 sind der natürliche Wassergehalt, die Atterberg'schen Grenzen und die Kornverteilung der Tone erforderlich. Die Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes erfolgt nach DIN 18121. Für die Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze sowie der daraus und dem natürlichen Wassergehalt abgeleiteten Größen Plastizitätszahl und Konsistenzzahl ist DIN 18122 maßgebend. Die Ermittlung der Kornverteilung (kombinierte Sieb-/Schlämmanalyse bzw. Schlämmanalyse) erfolgt in Anlehnung an DIN 18123.

6.2 Mineralogische Untersuchungen

An den für die Schachtabdichtung in Frage kommenden Tonen sollen mineralogischen Untersuchungen entsprechend Abschnitt 5.1 durchgeführt werden.

6.3 Proctorversuche

Um eine möglichst hohe Dichte der für den Schachtverschluß vorgesehenen Tone zu erreichen, müssen diese möglichst mit dem optimalen Wassergehalt eingebaut werden. Zur Ermittlung dieses Einbauwasser-gehalts müssen Proctorversuche nach DIN 18127 durchgeführt werden. Diese Versuche sind sowohl vor Beginn der Arbeiten zur Eignungsüberprüfung der Tone als auch während der Arbeiten zur Qualitätskontrolle vorzusehen.

6.4 Quellversuche

Zur Bestimmung der Quelleigenschaften der Tone sind Quellversuche im Kompressionsgerät durchzuführen, wie sie bereits im Abschnitt 5.3 beschrieben wurden (Empf. Nr. 11, AK19 DGEG). Dabei ist darauf zu achten, daß die Tone bei Versuchsbeginn vor dem Bewässern der Proben einen Wassergehalt besitzen, der dem Einbauwassergehalt entspricht.

6.5 Dreiaxiale Druckversuche

Auch die Durchführung einer Reihe von dreiaxialen Druckversuchen zur Ermittlung der Scherfestigkeit der Tone erfolgt in Anlehnung an die dafür gültigen DIN-Normen (DIN 18137, Teil 2). Das Versuchsprinzip und die Auswertung wurde bereits im Abschnitt 5.2 erläutert.

6.6 Kompressionsversuche

Zur Abschätzung des Setzungsverhaltens der Tonfüllung ist die Kenntnis ihrer Verformbarkeit erforderlich. Die Verformbarkeit von Lockergesteinen wird in der Regel durch den Steifemodul repräsentiert. Seine Ermittlung erfolgt im Kompressionsgerät (Ödometer, vgl. Anlage 5.3) durch einen Laborversuch, dessen Durchführung zwar noch in keiner DIN-Norm reglementiert, in der bodenmechanischen Praxis aber hinreichend bekannt ist. Bei diesem Versuch wird eine scheibenförmige Bodenprobe, deren Verformung in radialer Richtung durch einen starren Metallring verhindert wird, stufenweise in axialer Richtung belastet. Die höchste Laststufe wird den in der Natur vorkommenden Verhältnissen angepaßt. In jeder Laststufe wird die in axialer Richtung auftretende Setzung gemessen. Die Auswertung der Last-Setzungs-Linie liefert den Steifemodul als Verhältnis von Spannung und zugehöriger Dehnung. Der Steifemodul ist vom betrachteten Spannungsintervall abhängig und wird mit zunehmendem Spannungsniveau immer größer.

7. Zusammenfassung

Das Konzept zur Untersuchung der Dichtigkeit der alten Bohrungen und der Schachtverschlüsse stützt sich auf Labor- und Feldversuche sowie theoretische Überlegungen und Berechnungen. Dabei kommt den In-situ-Versuchen in den geplanten Versuchsstrecken besondere Bedeutung zu.

Das Untersuchungsprogramm umfaßt Standardversuche zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften des Gebirges sowie besonders konzipierte Versuche zur Ermittlung der Zerfalls- und Quelleigenschaften des Gesteins. In Abhängigkeit von den vor Ort angetroffenen Verhältnissen und ersten Versuchsergebnissen muß das Versuchsprogramm u.U. angepaßt und modifiziert werden. Gegebenenfalls sind auch ergänzende Untersuchungen durchzuführen, wenn andere, bisher nicht erkannte Phänomene von Bedeutung sein sollten.

Es wird davon ausgegangen, daß die Ergebnisse der in den geplanten Versuchsstrecken durchgeführten Untersuchungen großräumig übertragbar sind. Nach den Aussagen der Geologen sind die Tonsteine der Unterkreideschichten im Projektgebiet homogen ausgebildet. Zur Übertragbarkeit auf das Verhalten in den alten Bohrungen werden gesonderte Überlegungen angestellt.

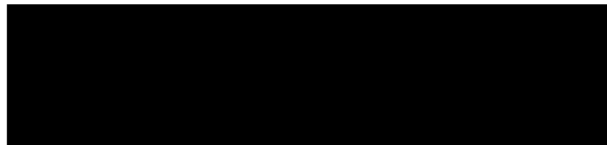
8. Literaturverzeichnis

- [1] Leeman, E.R.; Hayes, D.J.: A technique for determining the complete state of stress in rock using a single borehole. In: Proc. 1st Congr. ISRM, Vol 2, Lissabon 1966.
- [2] Rocha, M.; Silvério, A.: A new method for the complete determination of the state of stress in rock masses. Géotechnique 19 (1969) 116-132.

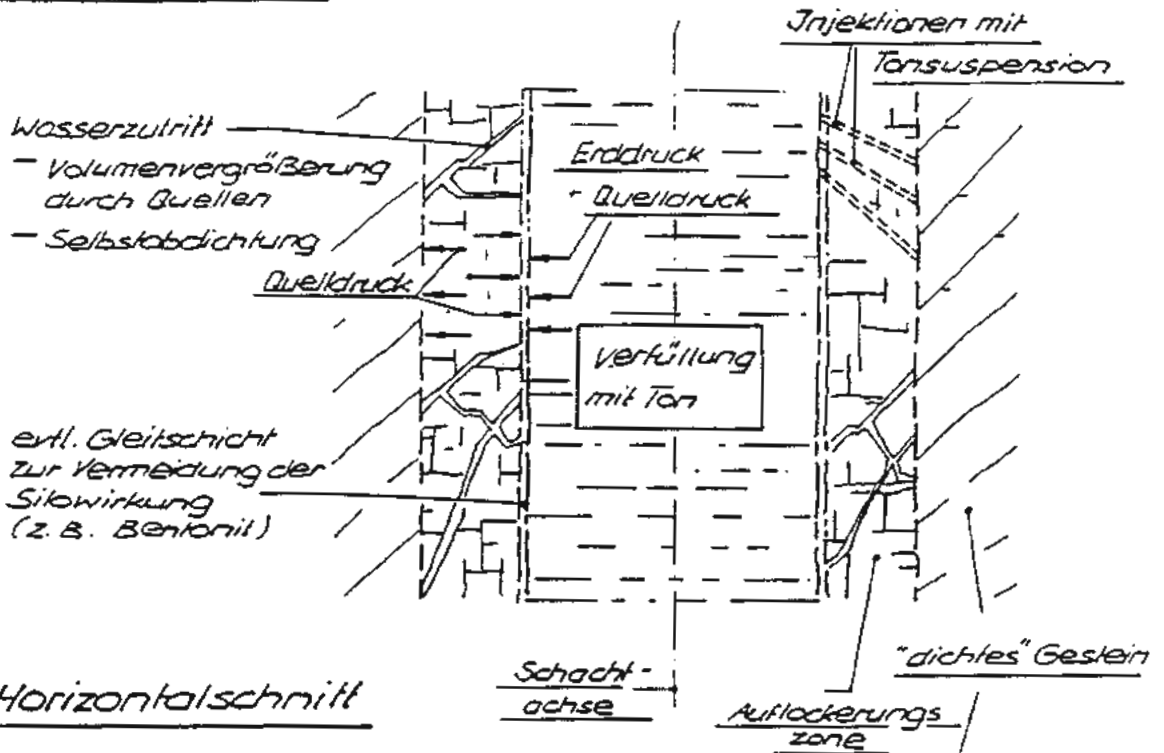
- [3] Worotnicki, G.; Walton, R.J.: Triaxial hollow inclusion gauges for the determination of rock stress in situ. In: Proc. ISRM Symp. on Investigation of Stress in Rock and Advances in Shear Measurement, Sydney 1976.
- [4] Wittke, W.: Felsmechanik, Grundlagen für wirtschaftliches Bauen im Fels. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1984.
- [5] Lama, R.D.; Vutukur, V.S.: Handbook on mechanical properties of rocks, Vol. 3, Trans. Tech. Publ. 1978.
- [6] Rocha, M.; da Siveira, A.F.; Grossmann, N.F.; Oliveira, E.: Determination of the deformability of rock masses along boreholes. In: Proc. 1st Congr. ISRM, Vol. 1, Lissabon 1966.
- [7] Menard, L.: Anwendung des Pressiometerverfahrens zur Untersuchung von Gebirgen. Felsmechanik u. Ingenieurgeologie IV/2 (1966) 160-171.
- [8] Hustrulid, W.A.; Hustrulid, A.: The CSM Cell - a borehole device for determining the modulus of rigidity of rock. In: Proc. 15th US Symp. on Rock Mech., Rapid City 1975.
- [9] Heitfeld, K.-H.; Koppelberg, W.: Durchlässigkeitsuntersuchungen mittels WD-Versuchen. Angewandte Geologie (1081) Heft 5/6.
- [10] Lugeon, M.: Barrages et Geologie. Paris: Dunoid 1933
- [11] Reißler, P.: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von klüftigem Fels. Veröffentlichungen des Institutes für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau der RWTH Aachen, Heft 5 (1977).

- [12] Schneider, H.-J.: Der in-situ Durchlässigkeitsversuch in geklüftetem Fels - Probleme und Interpretation. In: Proc. ISRM Symp. für Felsmechanik, Aachen 1982.
- [13] Blümking, P.: Spannungsmessungen in situ mit Hilfe von Bohrlochrandausbrüchen und die Spannungsverteilung in der Kruste Mitteleuropas und Australiens, 1986, Diss. TU Karlsruhe.
- [14] Dresen, L: Problematik, Methodik und Möglichkeiten geophysikalischer Verfahren zur Ortung oberflächennaher Hohlräume. Baugrundtagung Frankfurt/M (1974), 147-274.
- [15] Müller, G.: Geomechanische Messungen der Interfels in den Tunneln der Tauernautobahn. Interfels Meßtechnik Informationen (1973), 16-25.
- [16] Paulsen, B.; King, M.S.: Between hole acoustic surveying and monitoring of a granitic rock mass. Int. Journal of Geomechanics Vol. 17, 1988, 371-376.

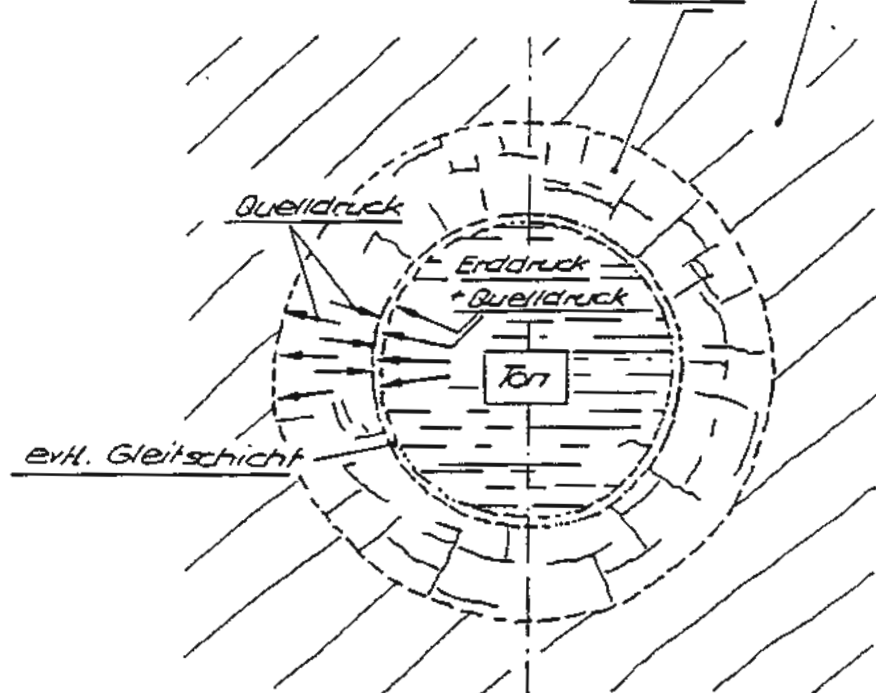
Aachen, den 15.06.1989



Vertikalschnitt



Horizontalschnitt

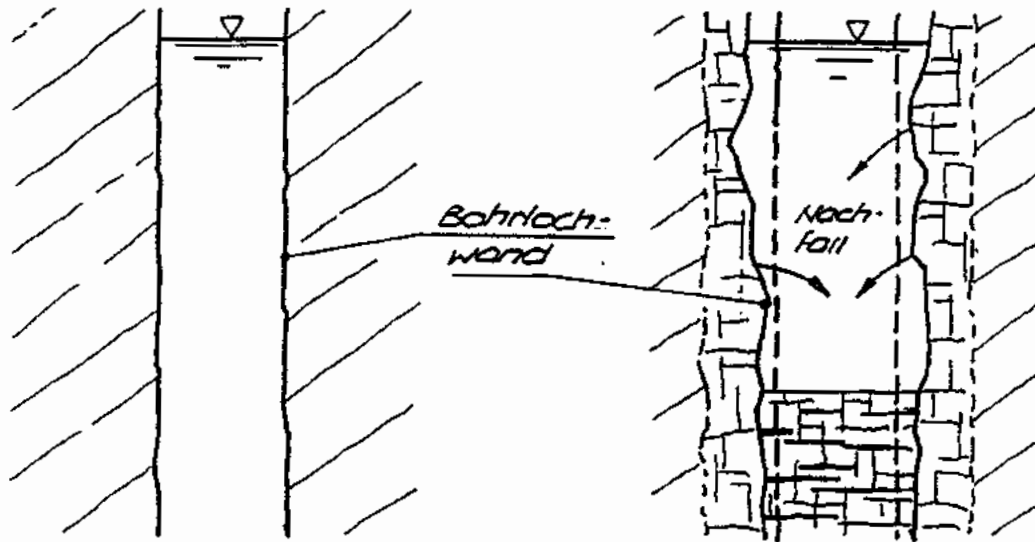


Prinzipiskizze zur Abdichtung des Schachtes

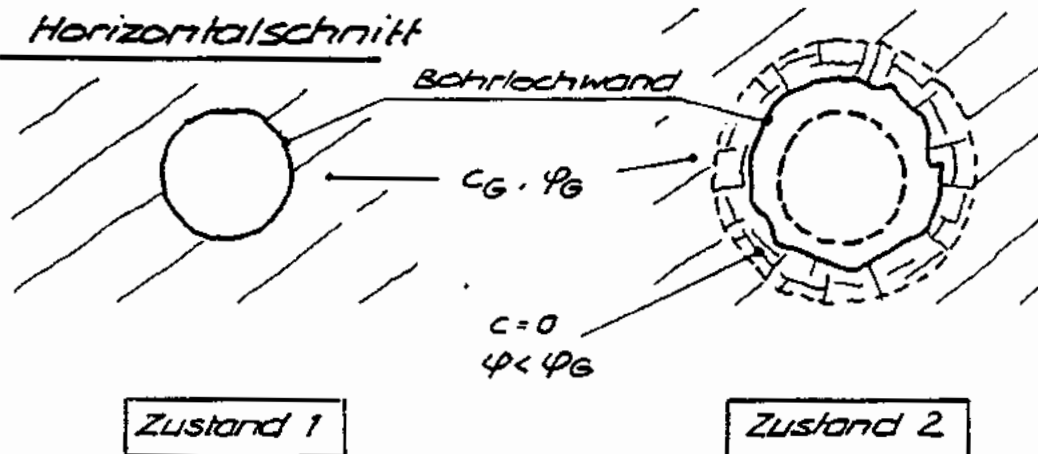
*progressive Entwicklung einer
wassergesättigten Zone am
Bohrlochrand*

- Verminderung der Scherfestigkeit durch Quellen und Zerfall
- Bohrloch nicht standsicher
- Abdichtung durch sedimentiertes gequollenes Nachfallmaterial

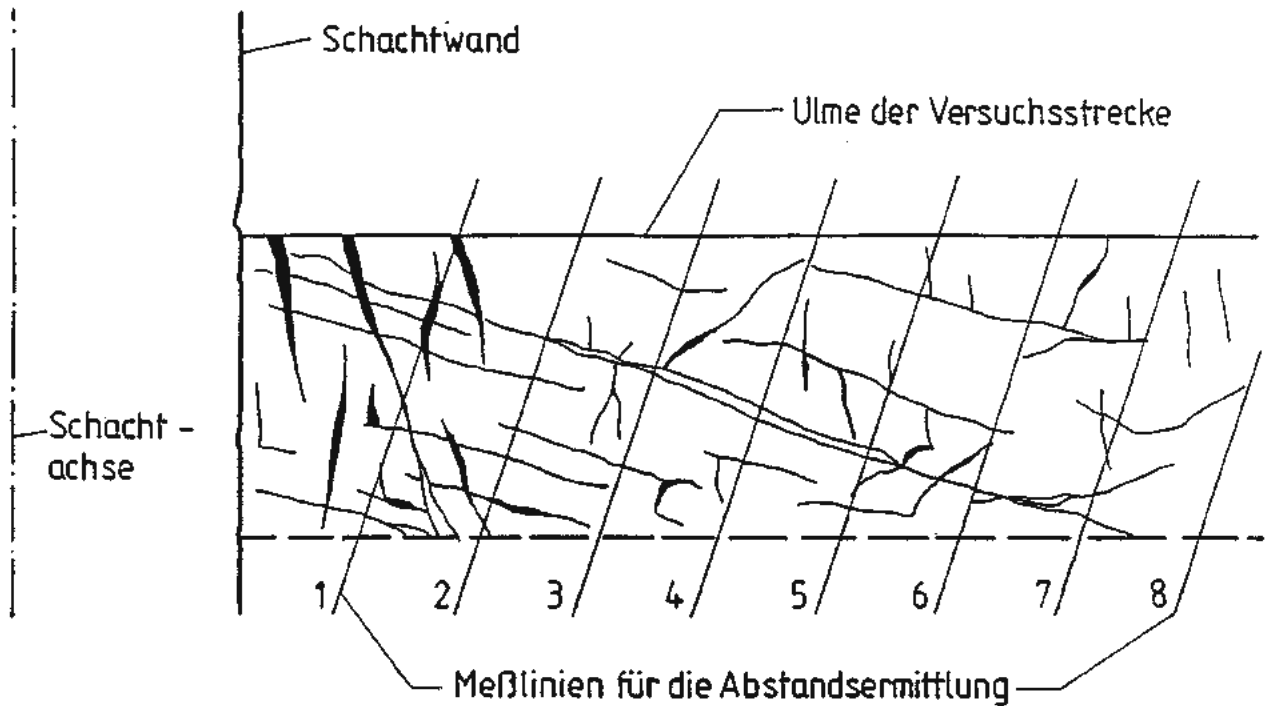
Vertikalschnitt



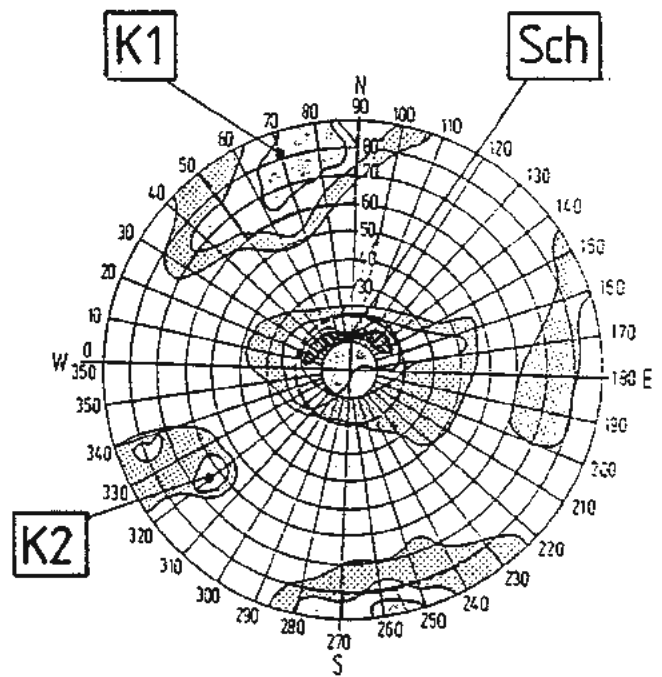
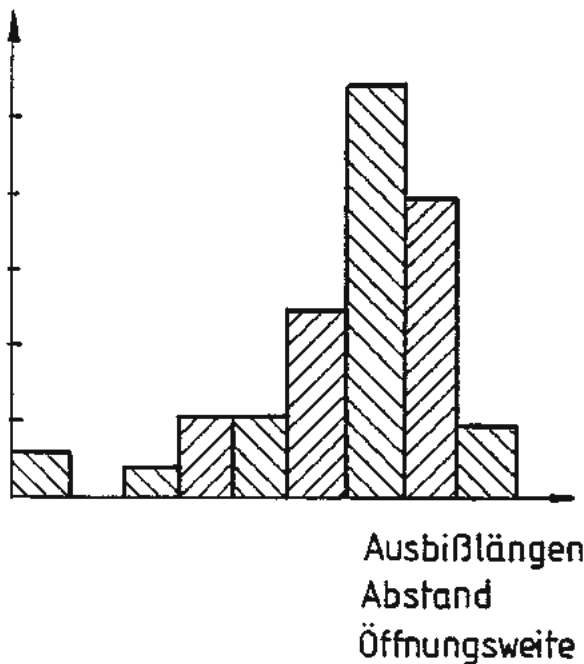
Horizontalschnitt



Prinzipskizze zur Selbstabdichtung der Tiefbohrungen

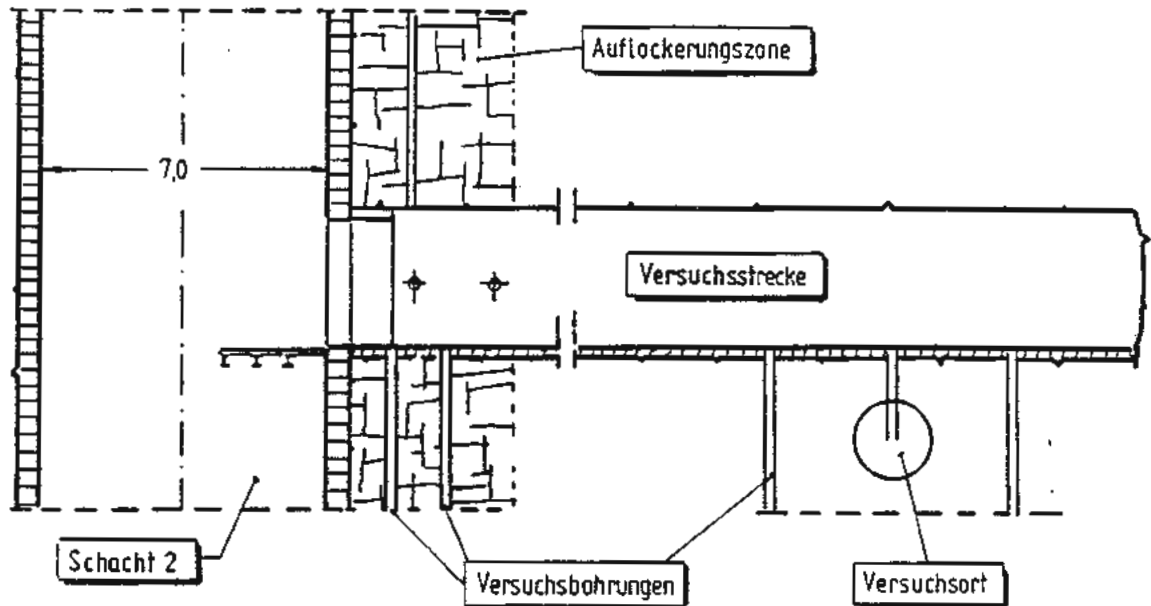


Häufigkeit [%]

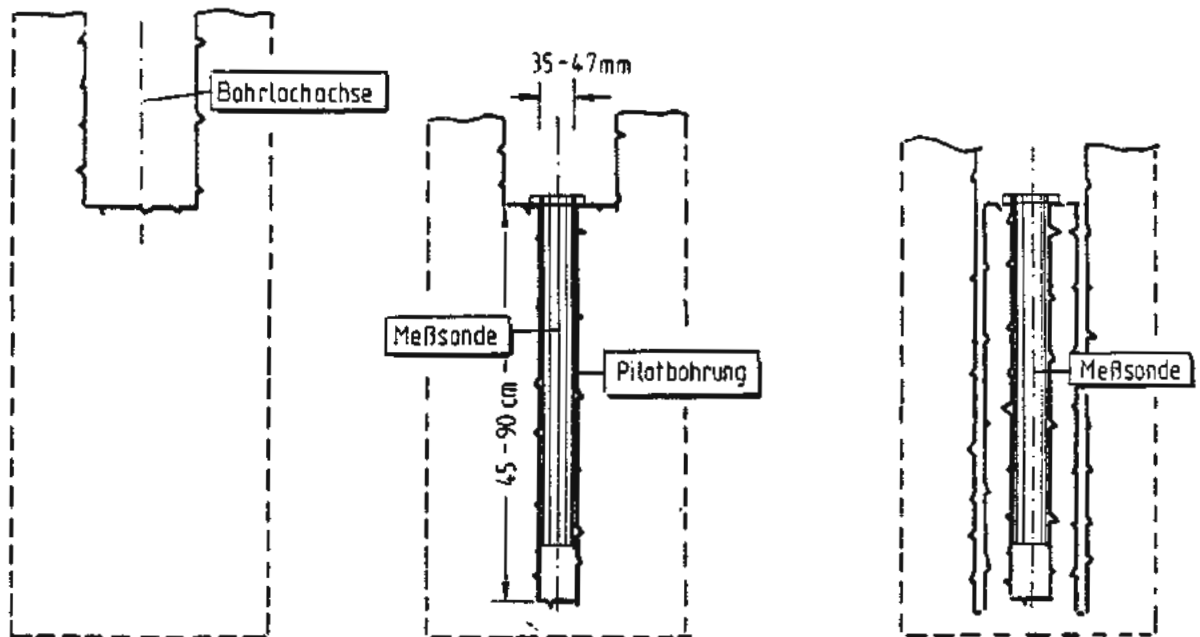


Kartierung der Firste, Sohle und Ulmen der Versuchsstrecken sowie deren Auswertung (Beispiel)

Vertikalschnitt



Arbeitsgänge am Versuchsort



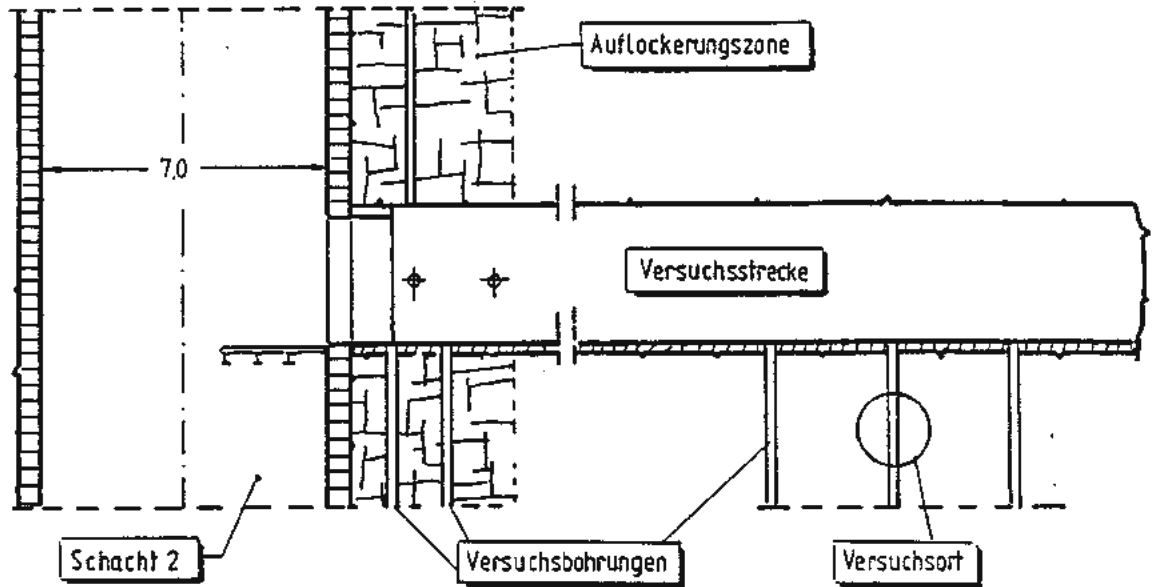
a) Abteufen einer Bohrung

b) Abteufen einer koaxialen Pilotbohrung, Einsetzen einer Meßsonde
(BGR-Sonde, Triaxialzelle o.ä.)

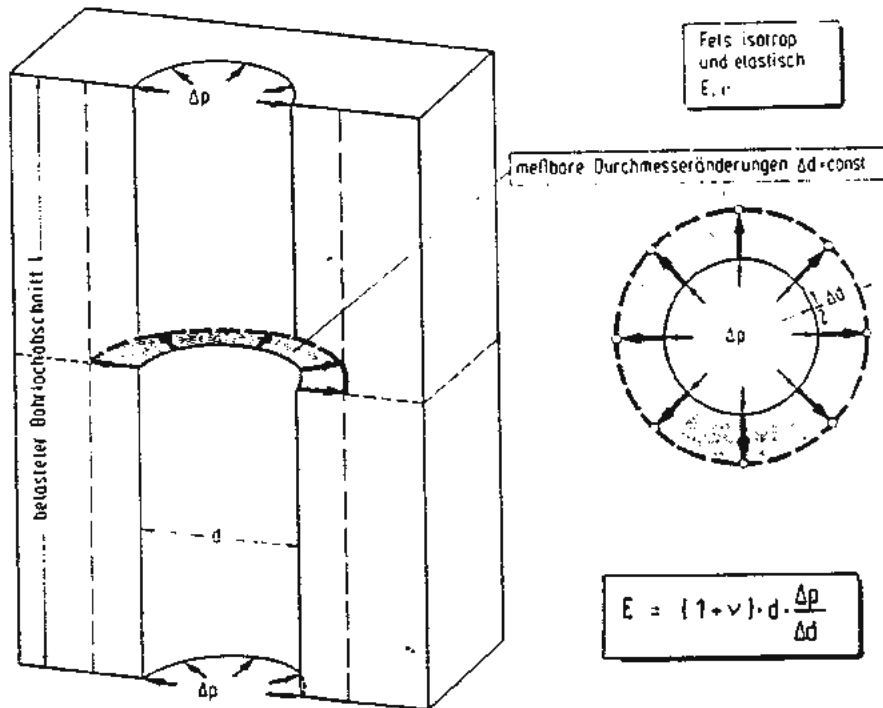
c) Überbohren der Pilotbohrung

Primärspannungsmessung nach der Überbohrmethode

Vertikalschnitt

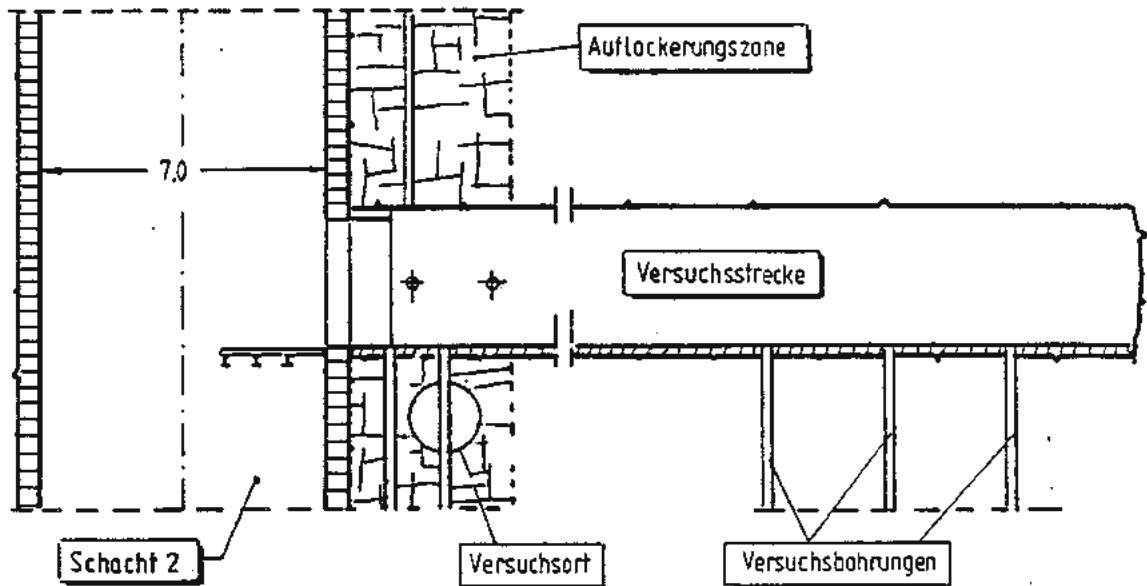


Versuchsprinzip und Auswertung

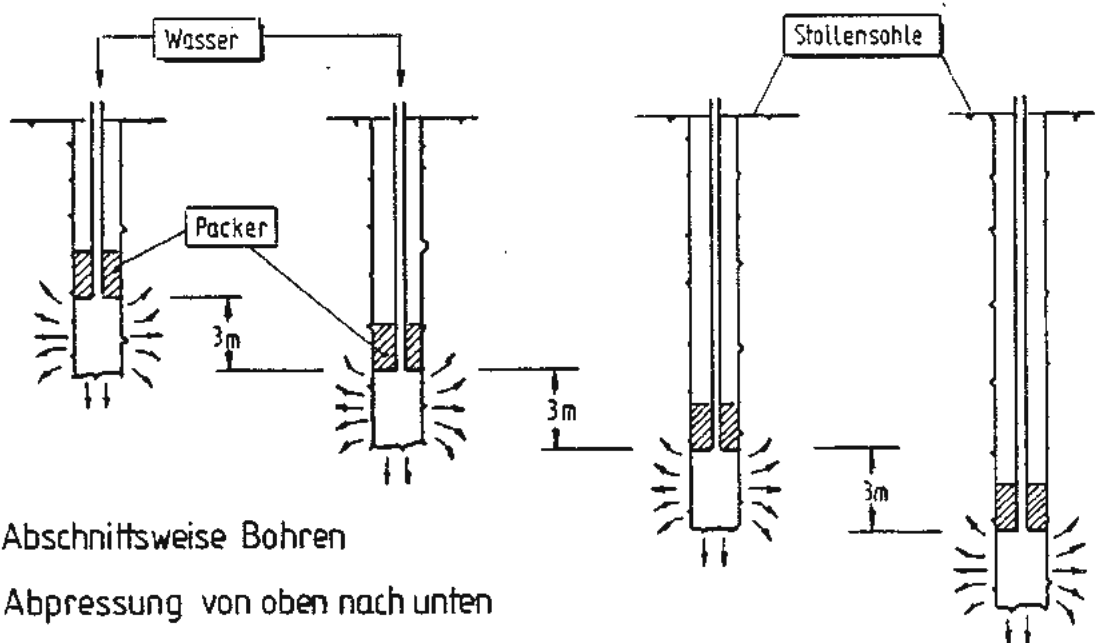


Dilatometerversuch im Fels

Vertikalschnitt



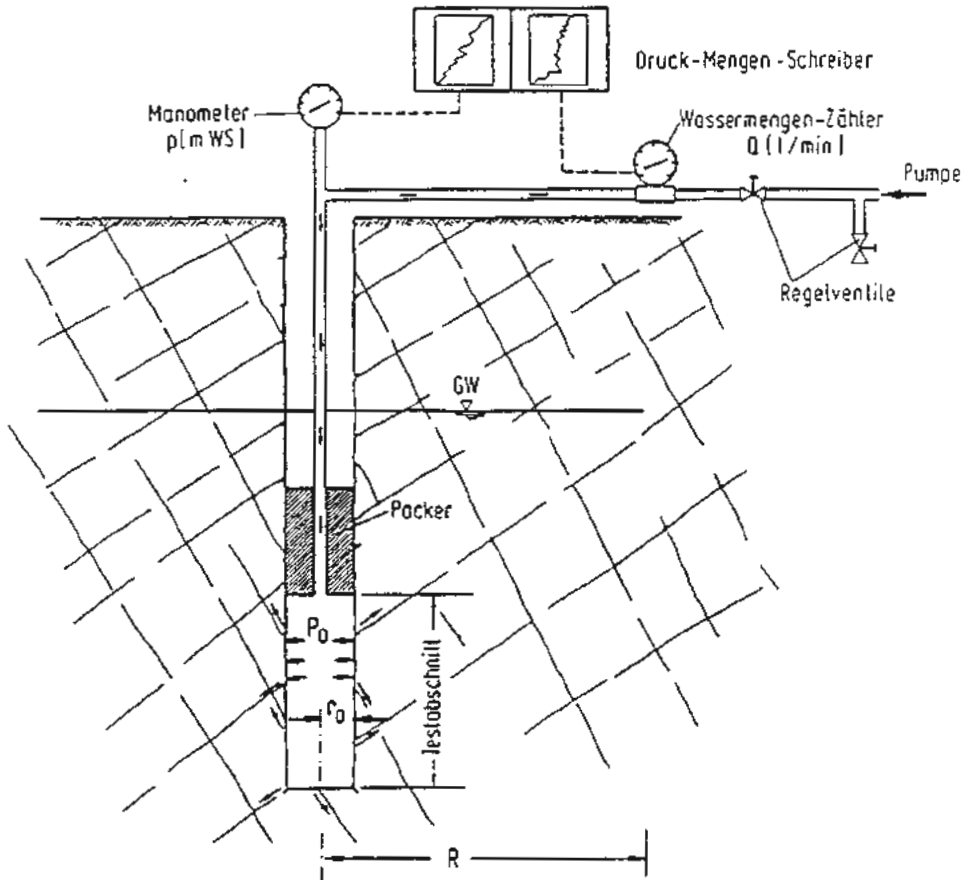
Arbeitsablauf am Versuchsort



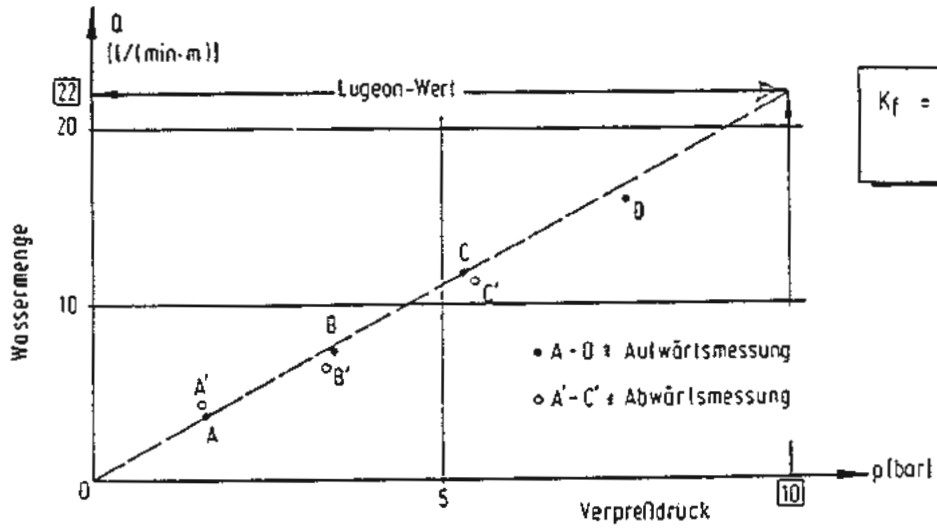
- Abschnittsweise Bohren
- Abpressung von oben nach unten

Wasserdurchlässigkeitsversuche (WD-Tests) in
der Auflockerungszone

Prinzip

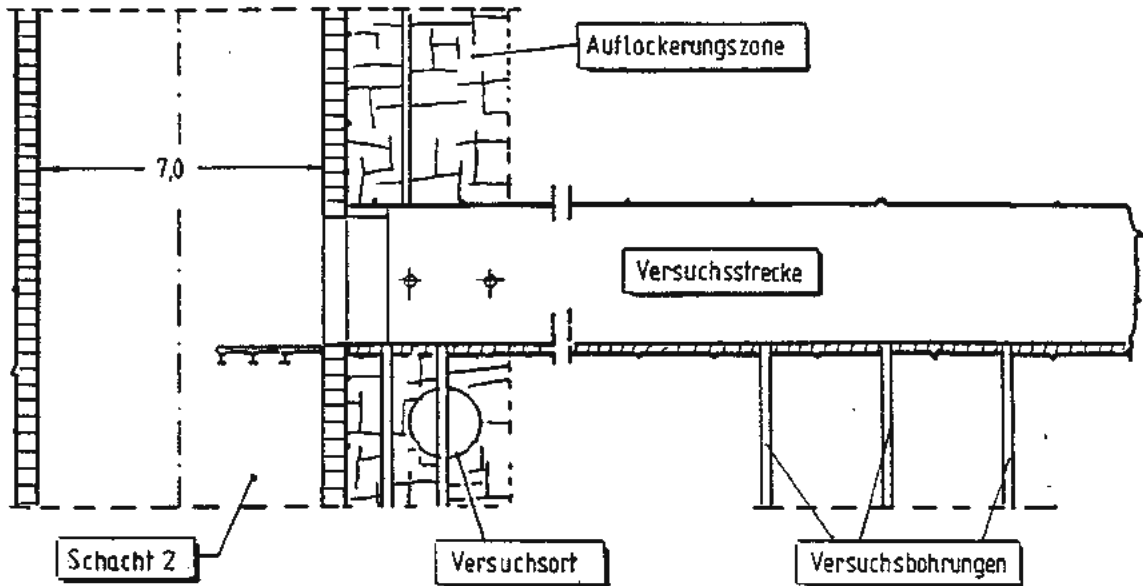


Auswertung

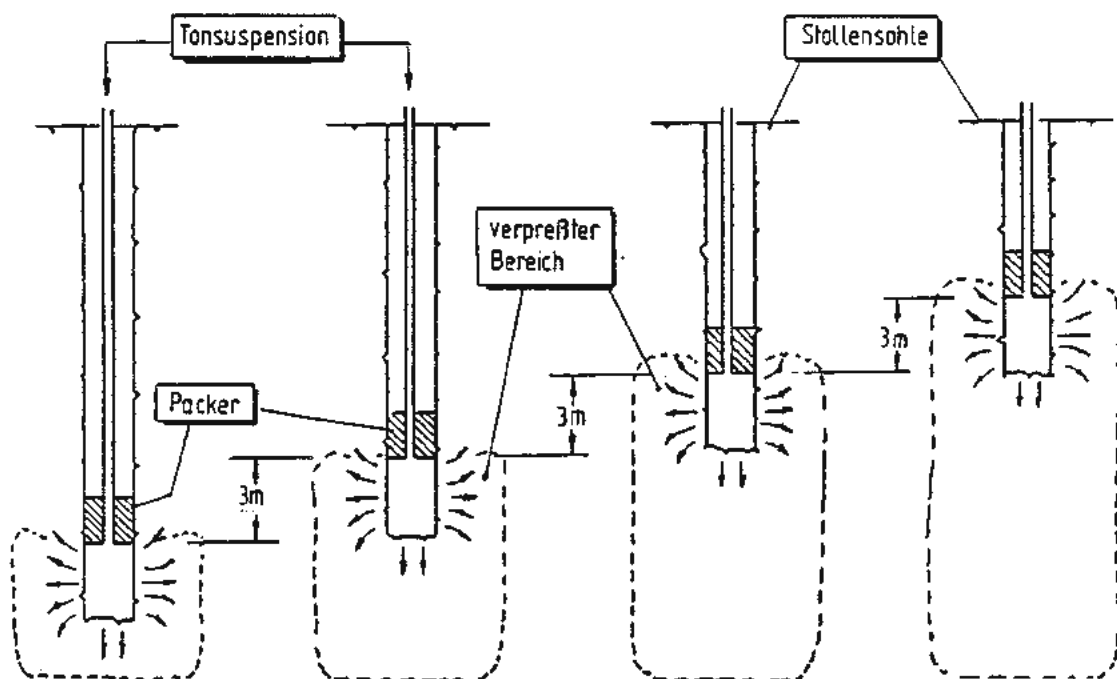


WD-Test : Versuchsprinzip und Auswertung

Vertikalschnitt



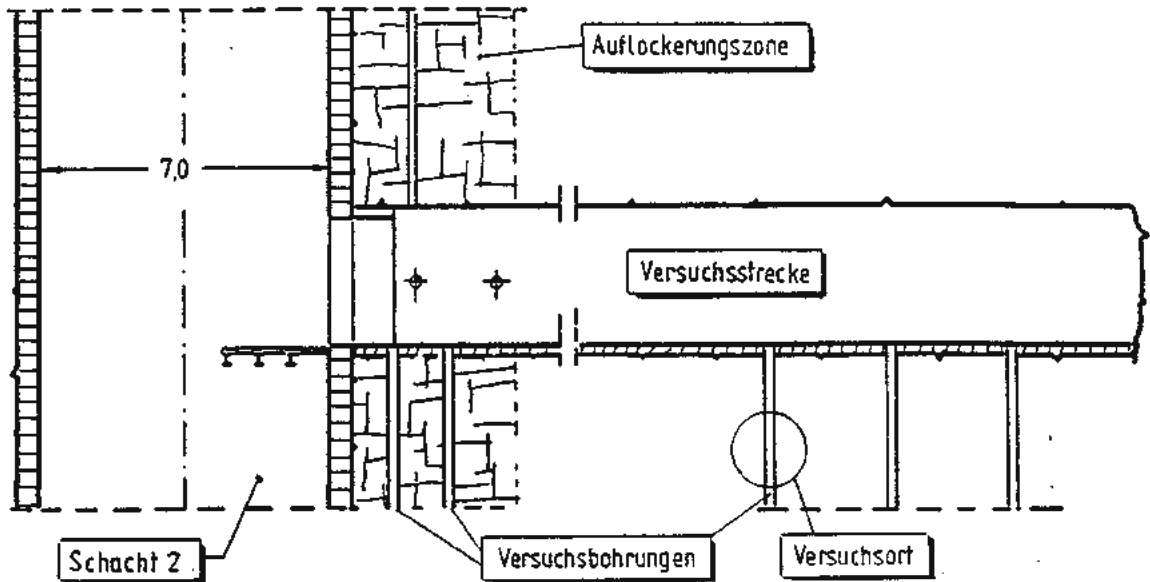
Arbeitsablauf am Versuchsort



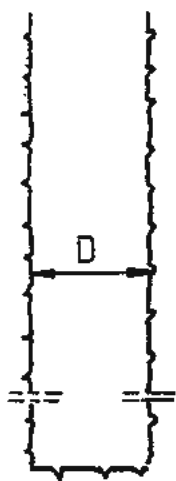
- Verpressung von unten nach oben

Injektionsversuche in der Auflockerungszone

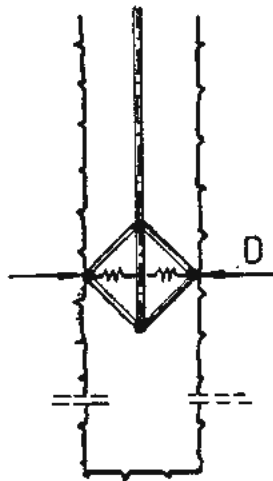
Vertikalschnitt



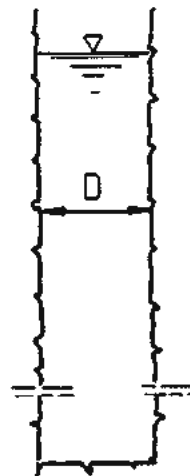
Arbeitsgänge am Versuchsort



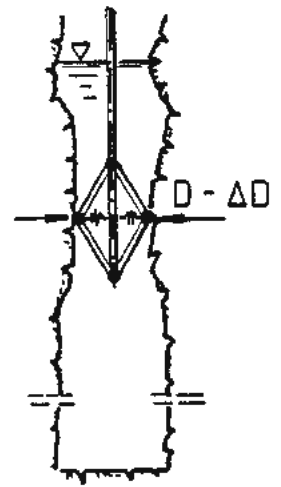
Abteufen der Bohrung (Kernbohrung mit Luftspülung)



Befahren des Bohrlochs mit der Kalibersonde



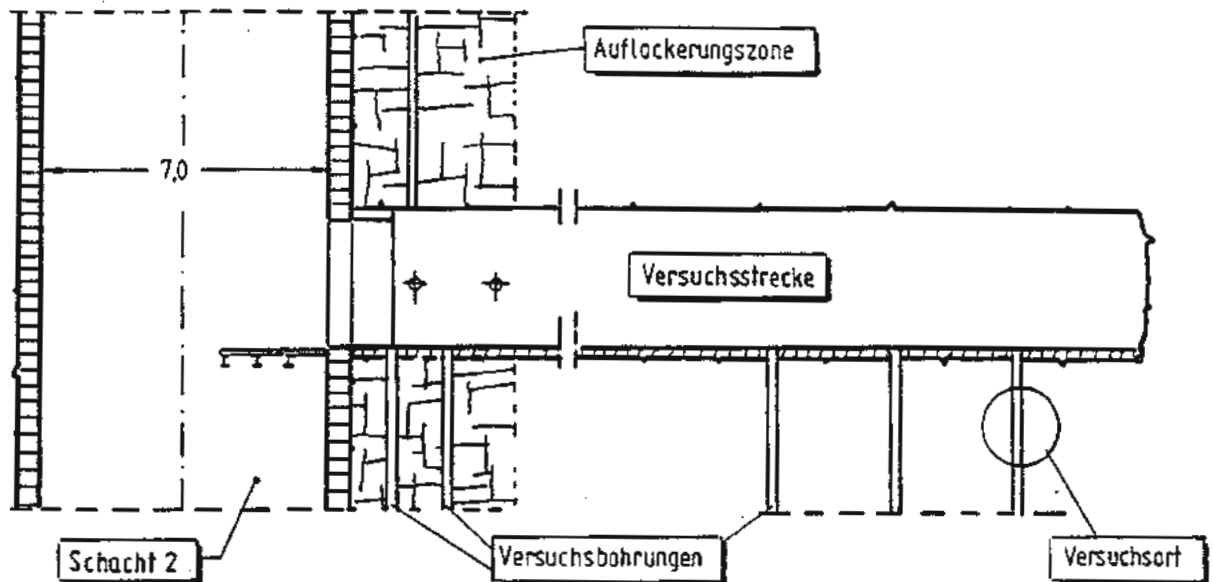
Bewässern des Bohrlochs (Süß-Salzwasser)



In regelmäßigen Zeitabständen Befahren des Bohrlochs mit der Kalibersonde

Feldversuch zur Bohrlochkonvergenz infolge Quellen und zur Bohrlochstabilität (Zerfall)

Vertikalschnitt



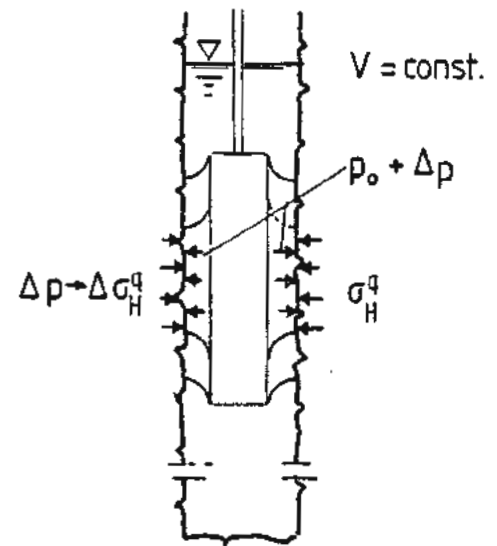
Arbeitsgänge am Versuchsort



Abteufen der Bohrung
 (Kernbohrung mit Luft-
 spülung)



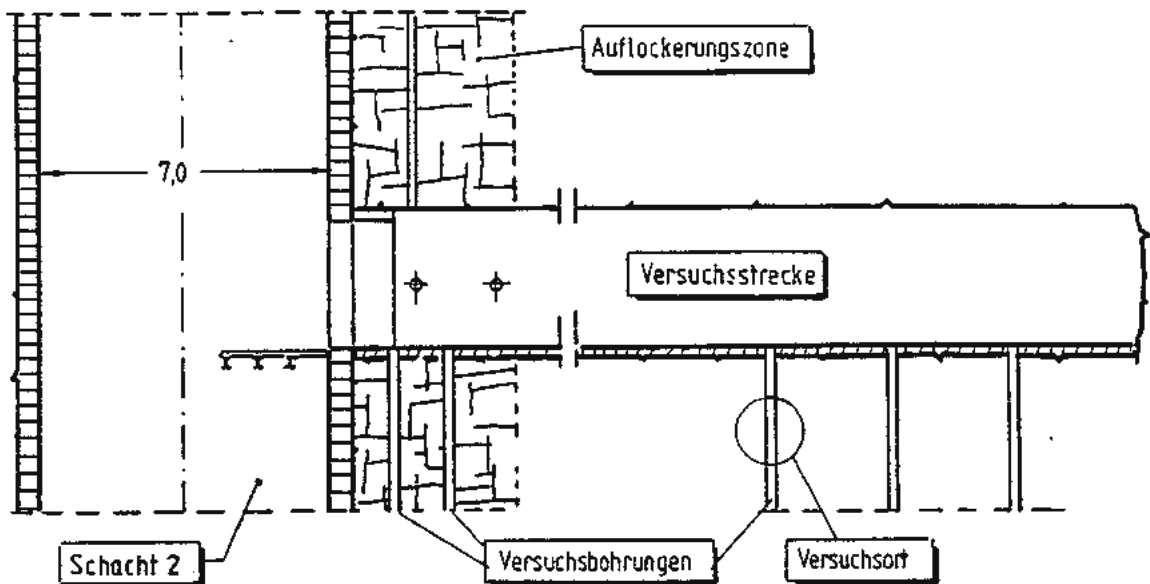
Bewässern des
 Bohrlochs



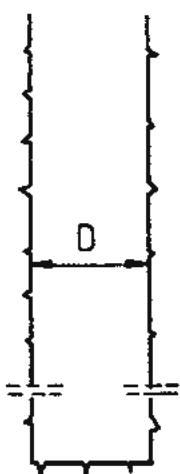
Einsetzen eines Pressio-
 meters oder biaxialen
 Spannungsmessgerätes

Feldversuch zur Messung des Quelldruckes in
 den Bohrlochern

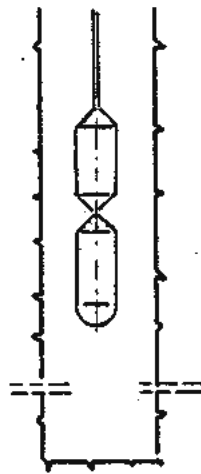
Vertikalschnitt



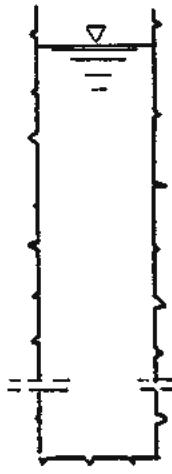
Arbeitsgänge am Versuchsort



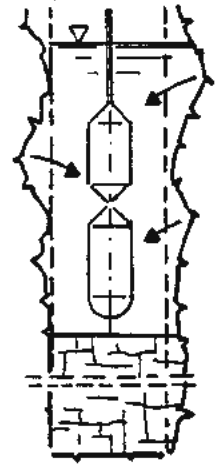
Abteufen der Bohrung (Kernbohrung mit Luftspülung)



Befahren des Bohrlochs mit der Fernsehsonde

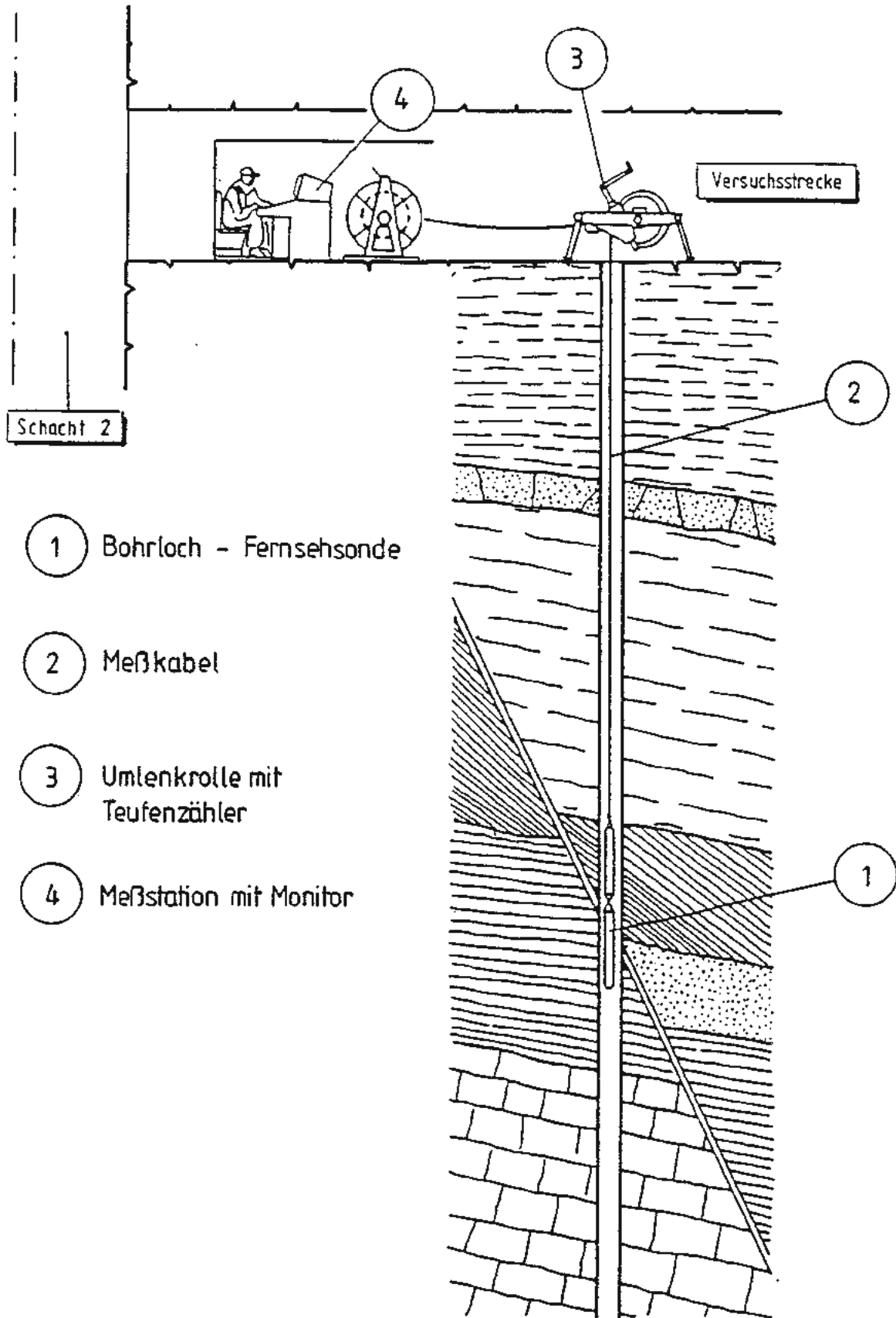


Bewässern des Bohrlochs (Süß-Salzwasser)



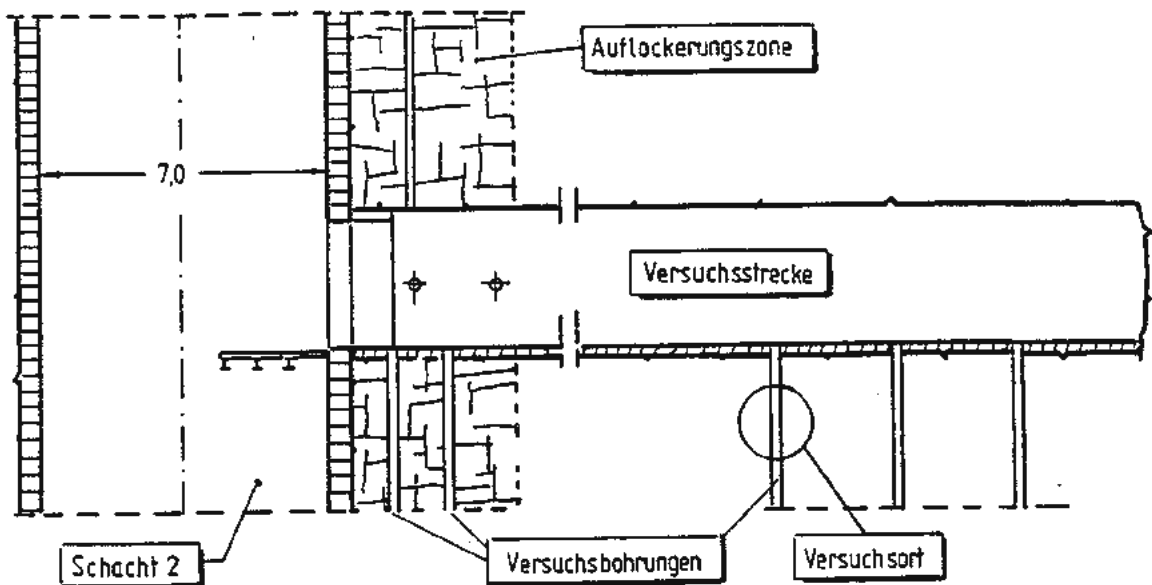
In regelmäßigen Zeitabständen Befahren des Bohrlochs mit der Fernsehsonde

Feldversuch zur Bohrlochstabilität und zum Zerfall des Tonsteins

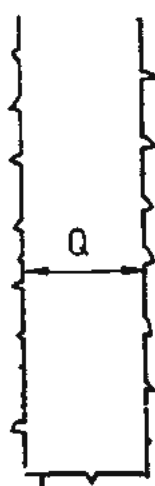


Prinzip einer Fernsehsondierung

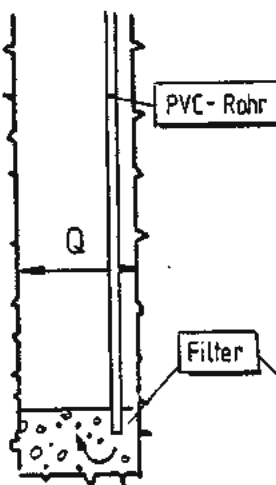
Vertikalschnitt



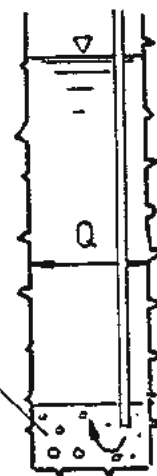
Arbeitsgänge am Versuchsort



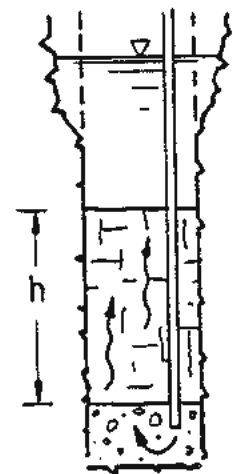
Abteufen der Bohrung



Einsetzen einer Wasserzuleitung mit Filterschicht



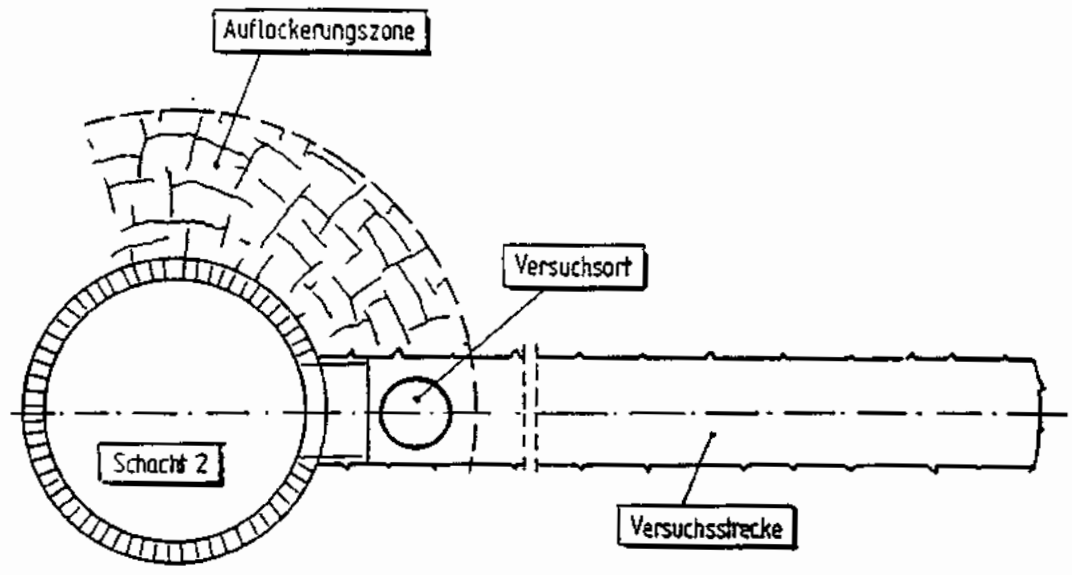
Bewässern des Bohrlochs



Durchströmungsver-
 such am sedimen-
 tierten Nachfall-
 material

Feldversuch zur Durchlässigkeit des Nachfallmaterials
 in nicht standsicheren Bohrlöchern

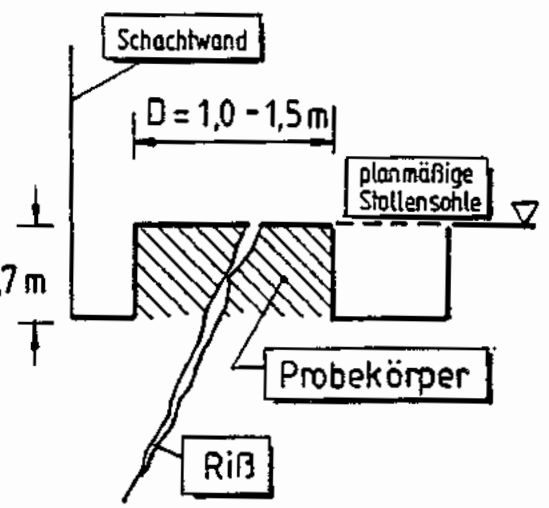
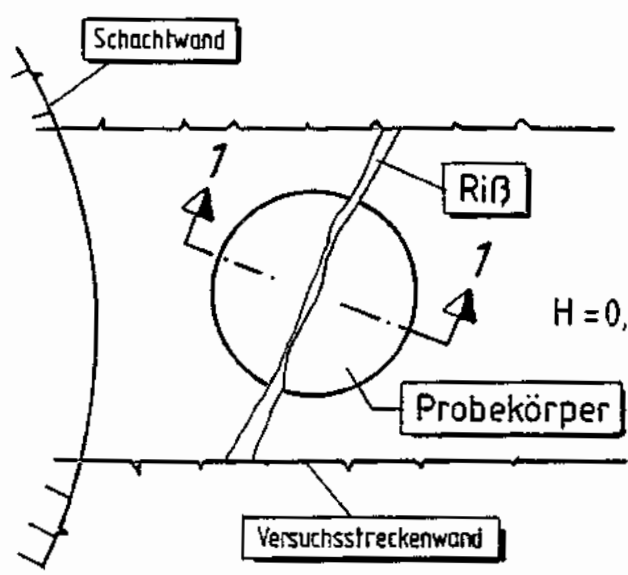
Horizontalschnitt



Herstellen des Probekörpers

Grundriß

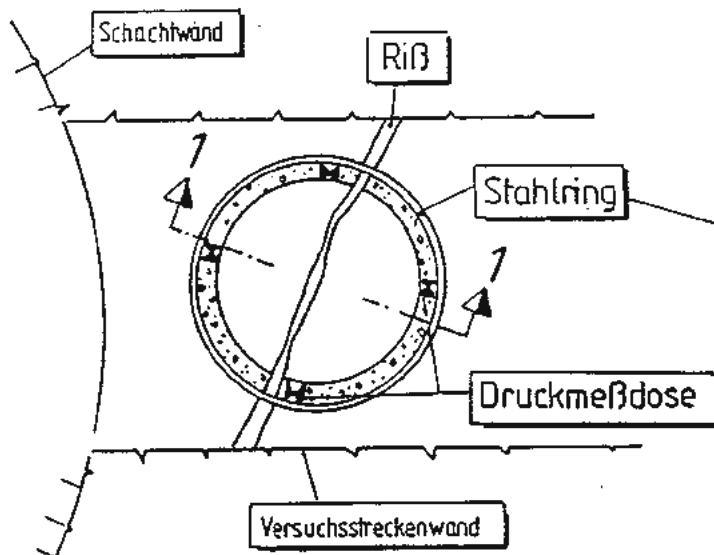
Schnitt 1 - 1



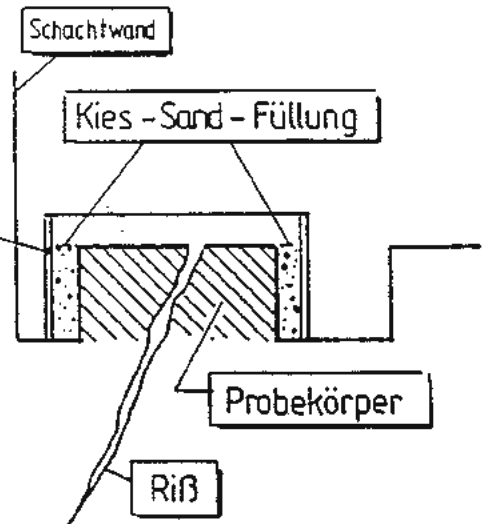
Feldversuch zur Selbstabdichtung der Auflockerungszone infolge Quellen

Versuchsvorbereitung

Grundriß

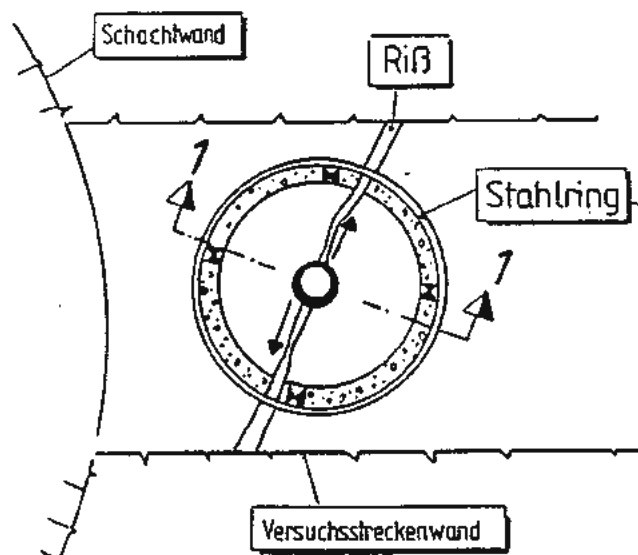


Schnitt 1-1

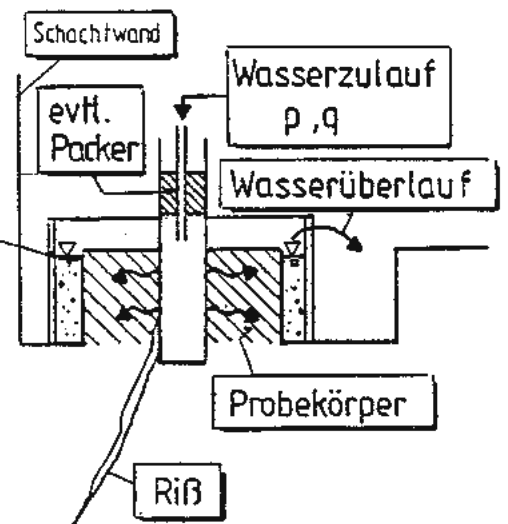


Versuchsdurchführung

Grundriß

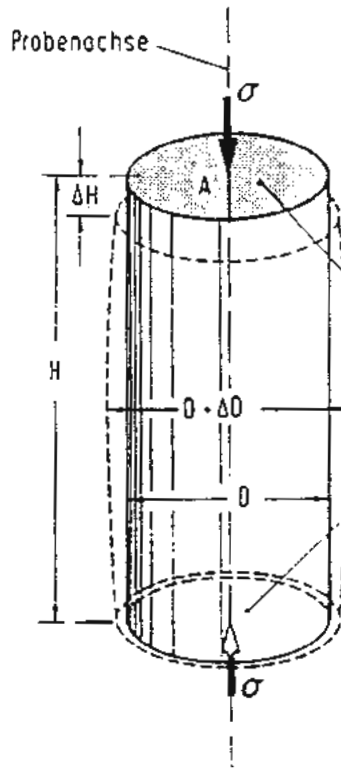


Schnitt 1-1



Feldversuch zur Selbstabdichtung der Auflockerungszone infolge Quellen

Versuchsdurchführung



Spannungszustand im mittleren Teil der Probe

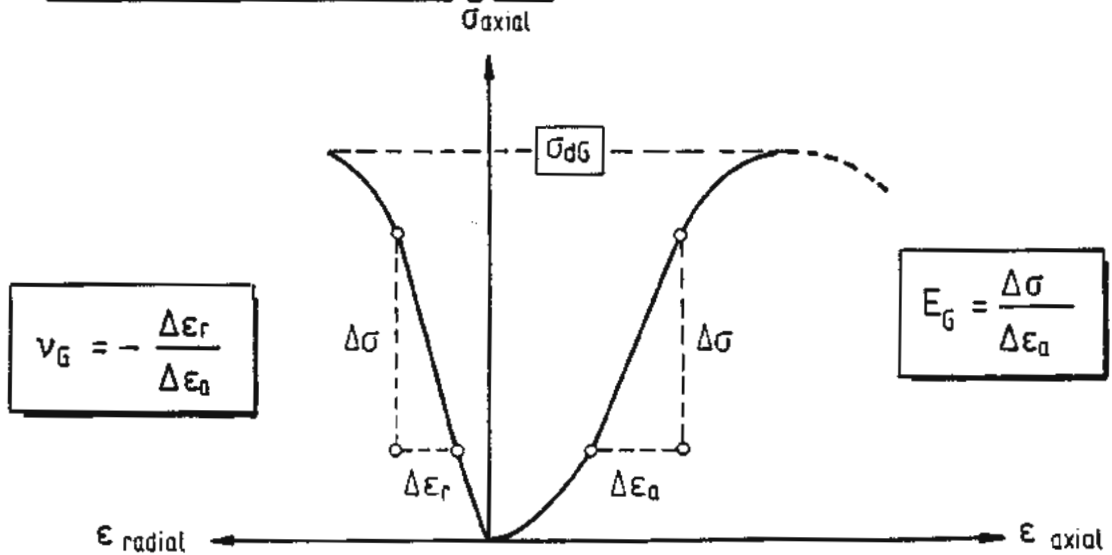
$$\sigma_1 = \sigma \quad , \quad \sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

Lasteintragungsf lächen A

Dehnungen der Probe

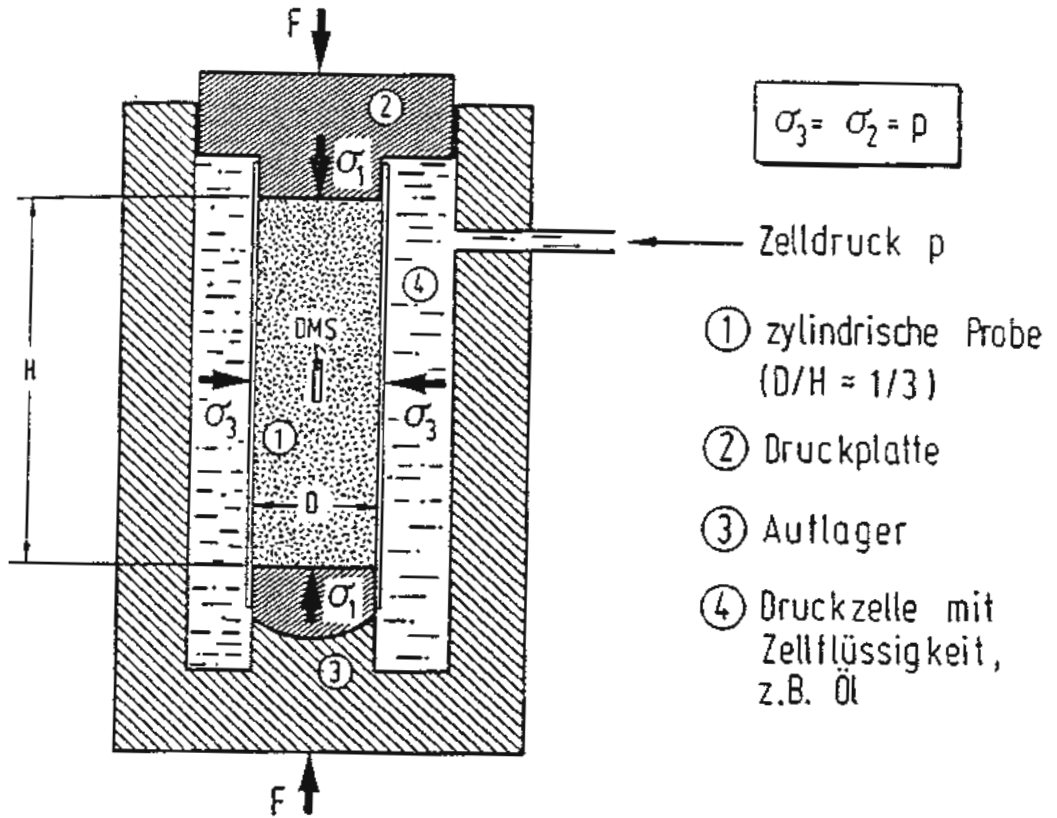
$$\epsilon_{\text{axial}} = \frac{\Delta H}{H} \quad \epsilon_{\text{radial}} = \frac{\Delta D}{D}$$

Versuchsauswertung

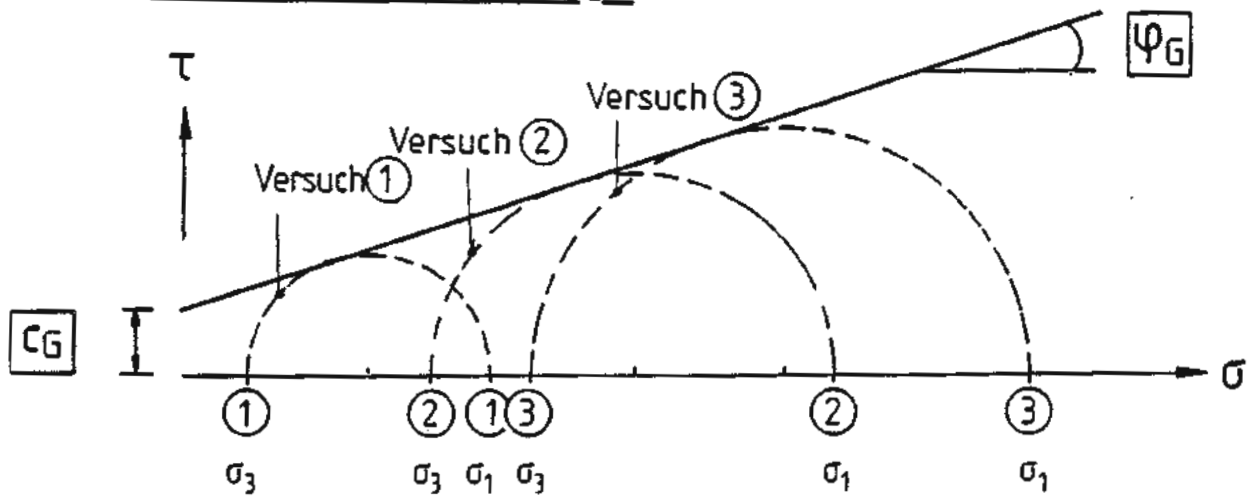


Einaxialer Druckversuch an Gesteinsproben
 (DIN 18136)

Versuchsdurchführung

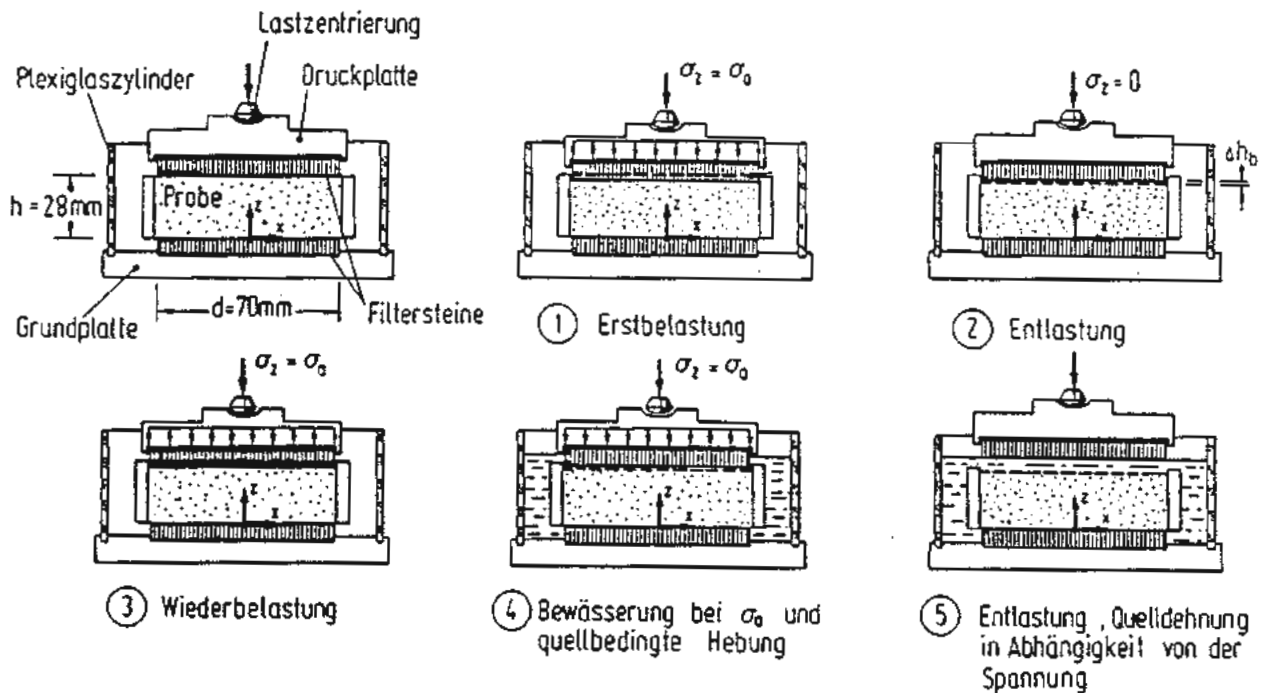


Versuchsauswertung

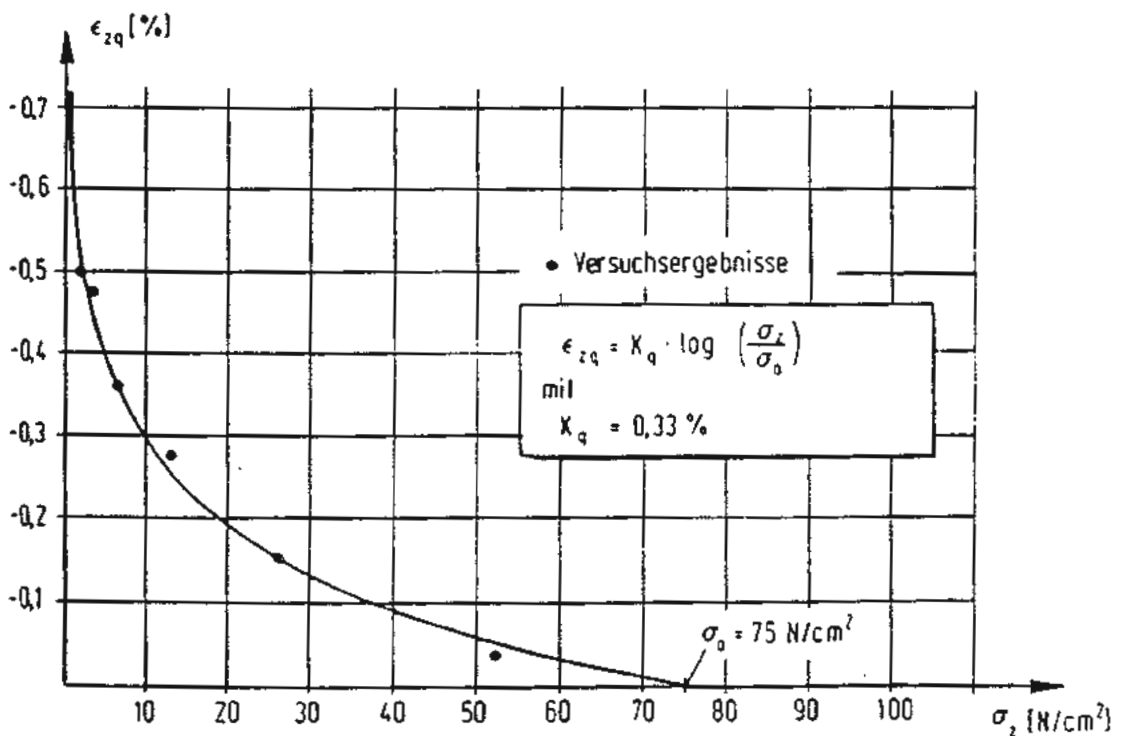


Dreiaxialer Druckversuch an Gesteinsproben
 (DIN 18 137, Teil 2)

Versuchsdurchführung

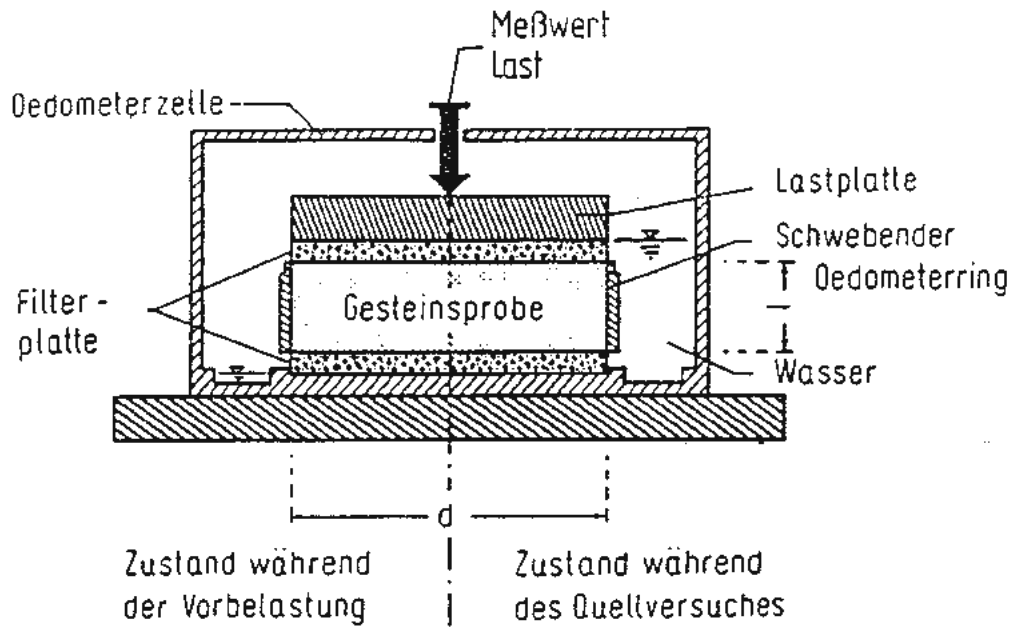


Versuchsauswertung (Beispiel)

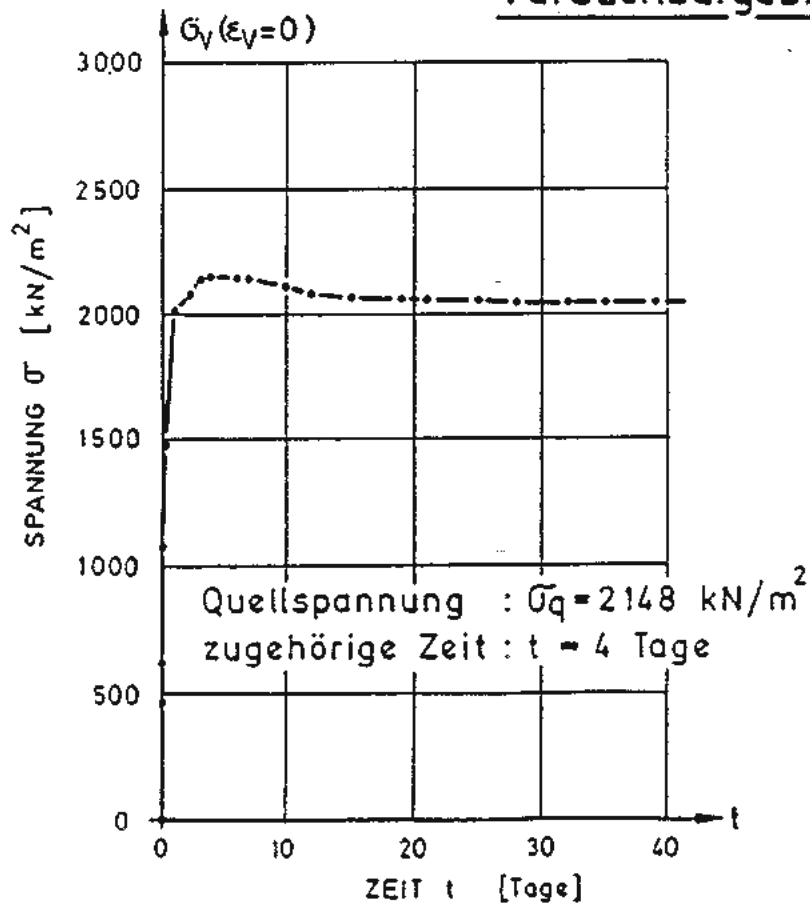


Laborquellversuch nach [redacted]
 (Empfehlung Nr.11, Ak 19 der DGEÜ)

Versuchsdurchführung

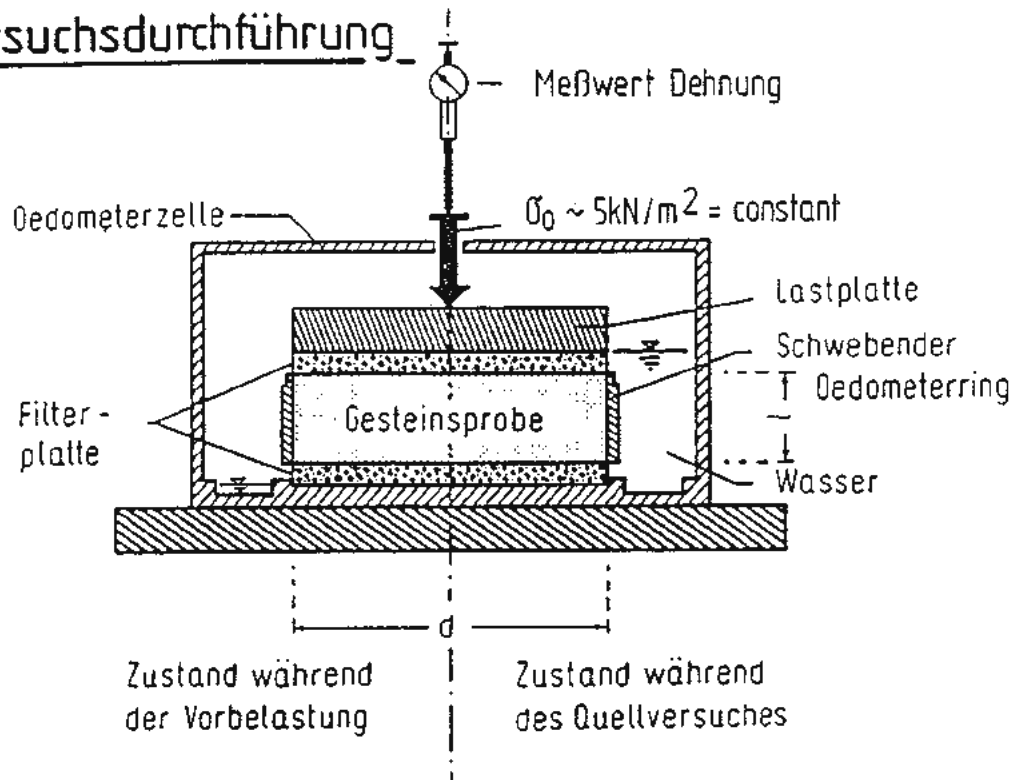


Versuchsergebnis (Beispiel)

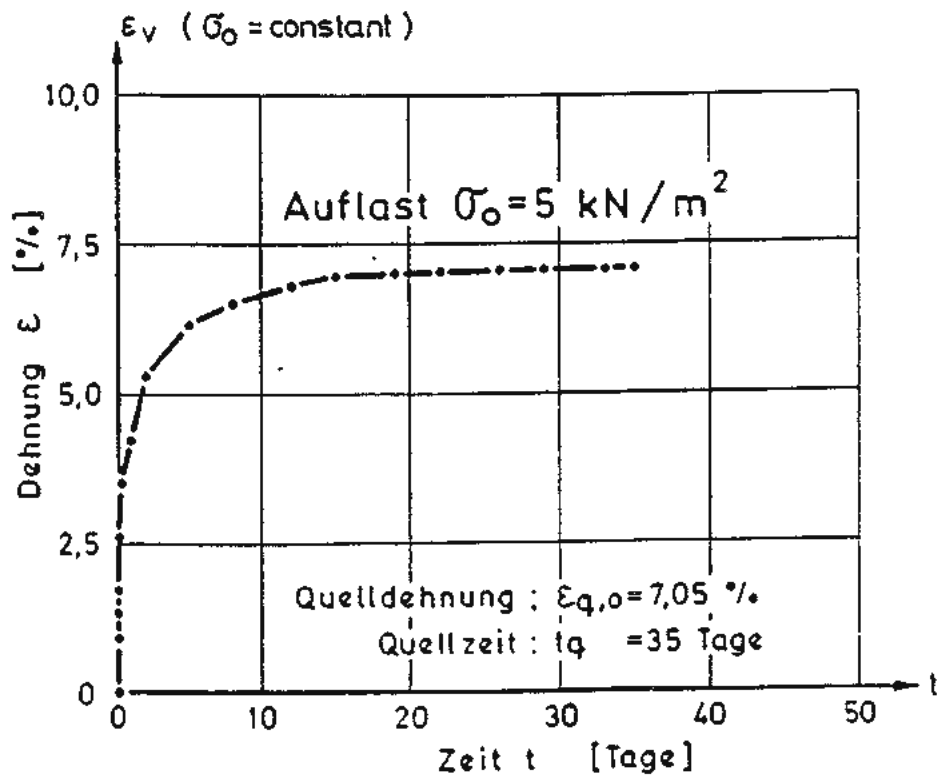


Quelldruckversuch an Gesteinsproben
 (Empfehlung Nr. 11 , Ak 19 der DGEG)

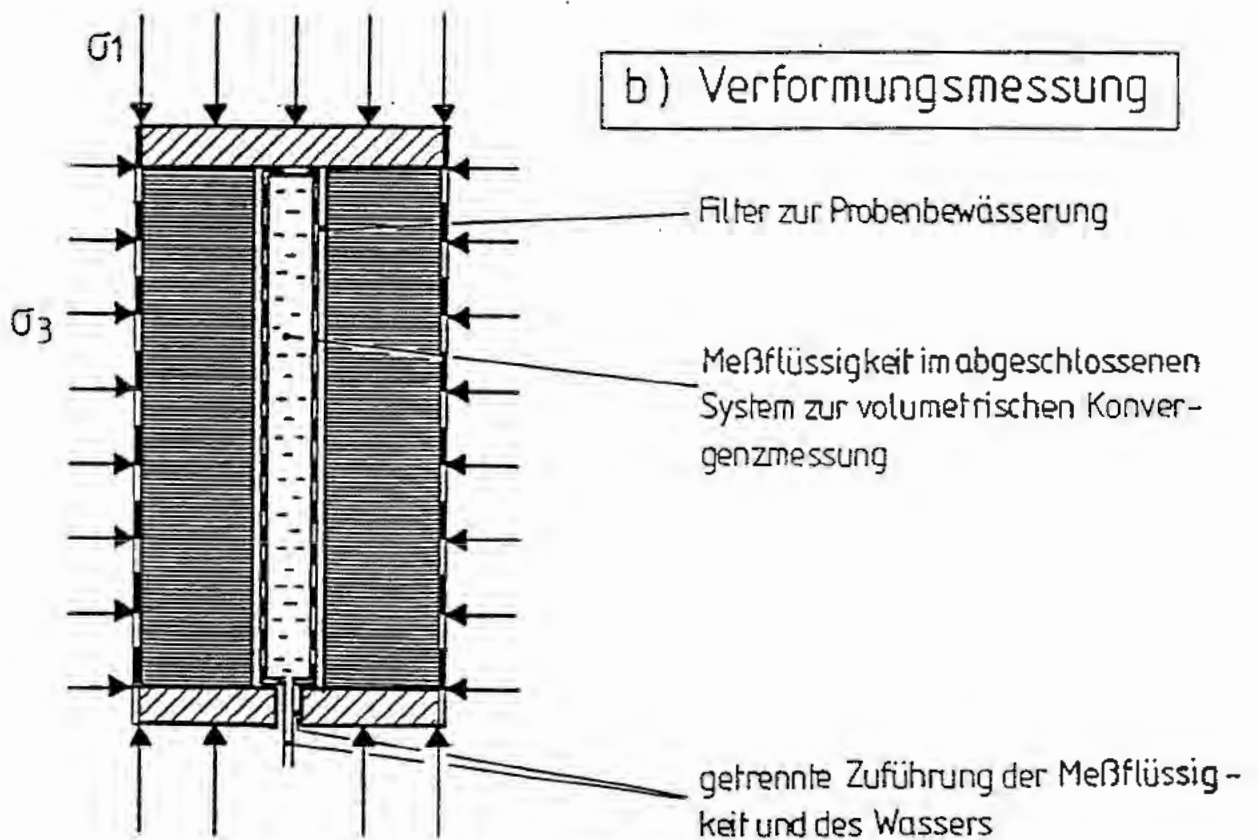
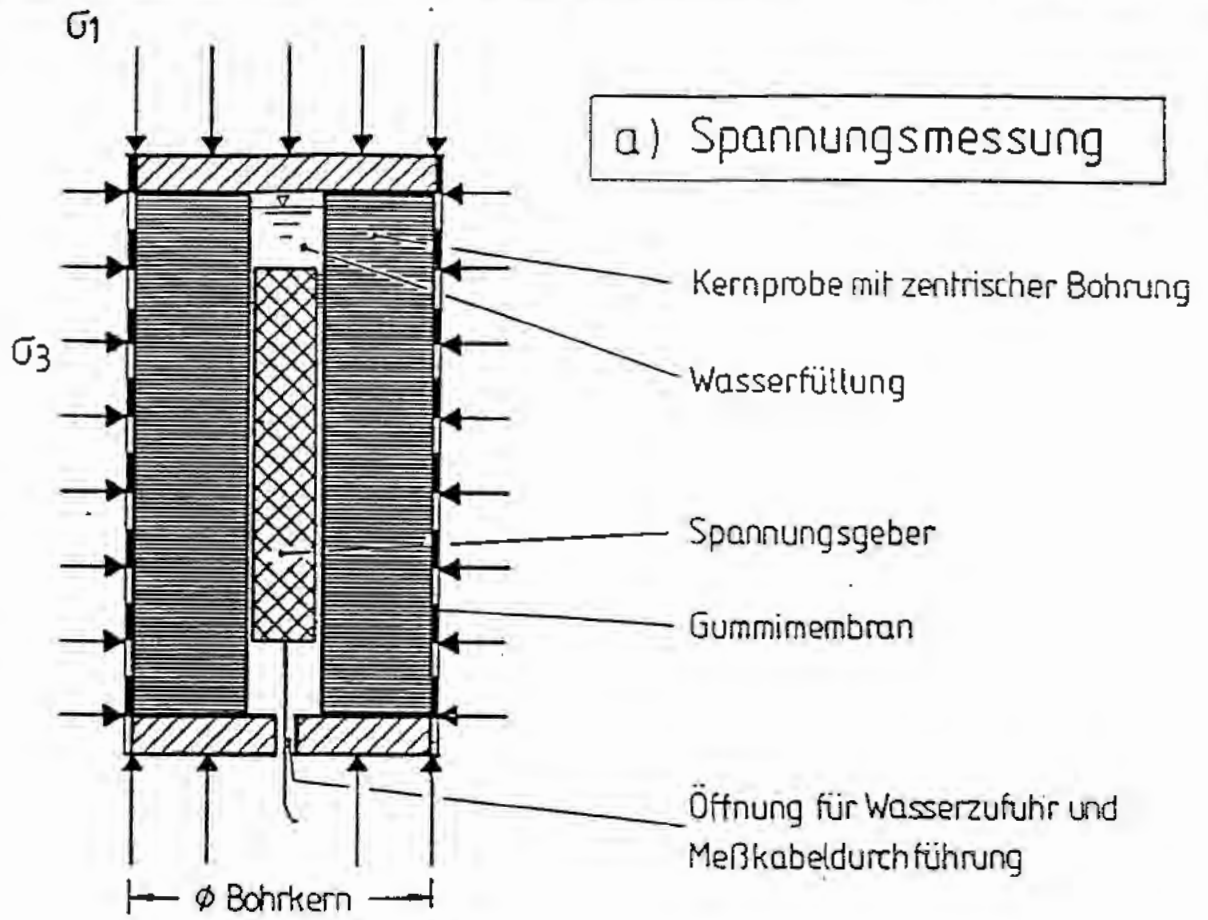
Versuchsdurchführung



Versuchsergebnis (Beispiel)



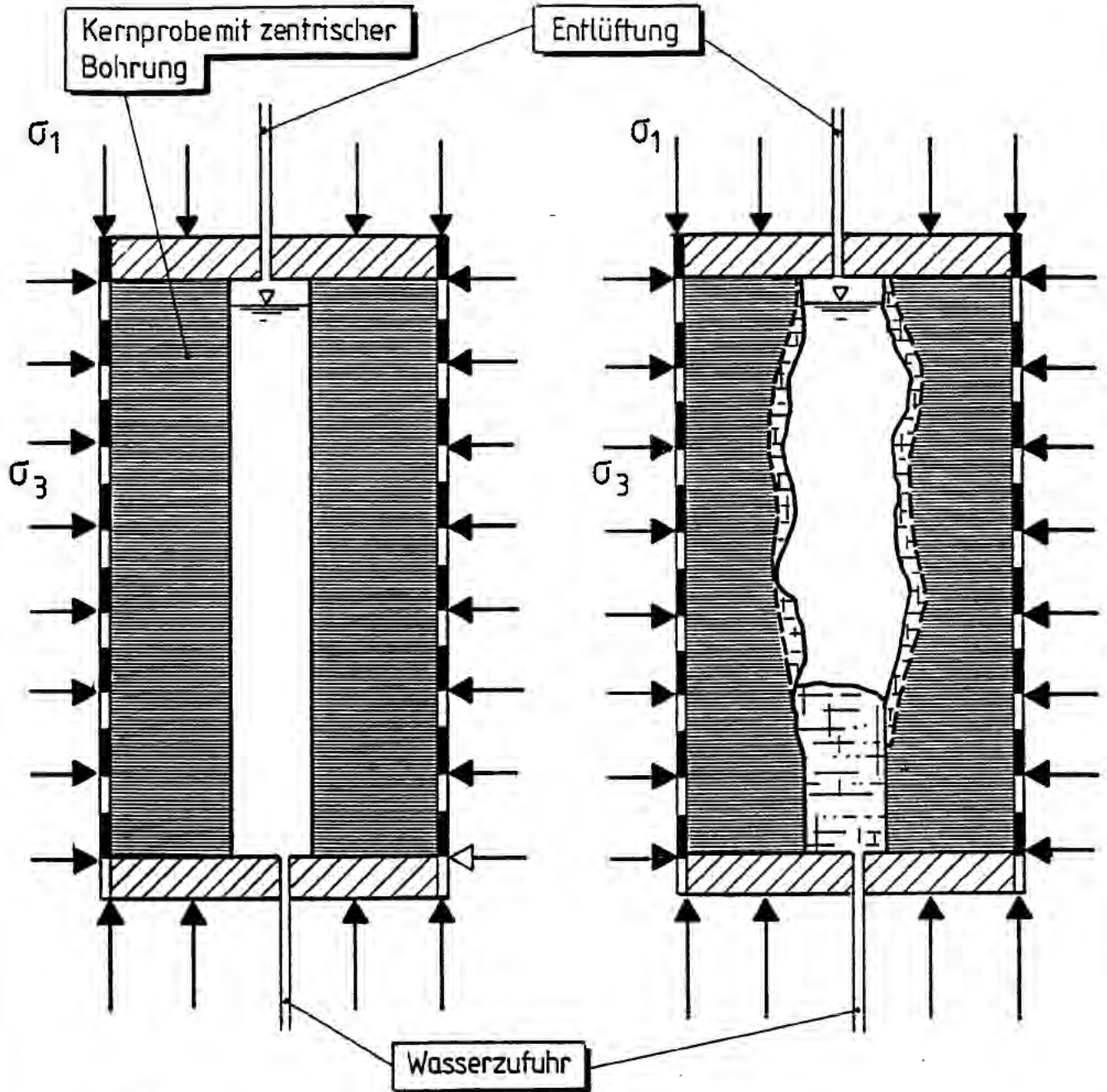
Quellhebungsversuch an Gesteinsproben
 (Empfehlung Nr. 11, Ak 19 der DGEG)



Laborversuche zur Bohrlochkonvergenz
infolge Quellen

Vor dem Versuch

Nach dem Versuch

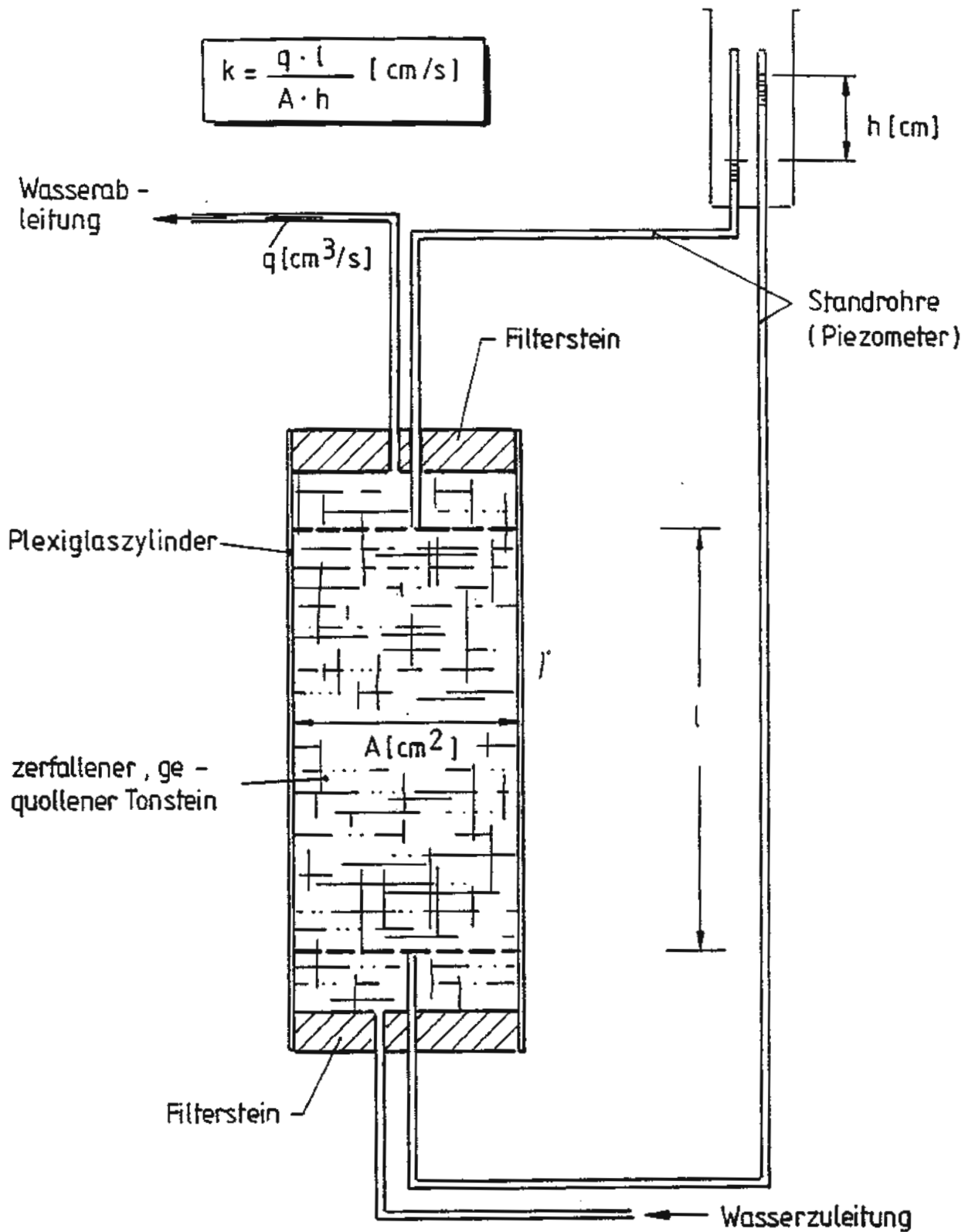


ungestörter Tonstein



zerfallener, gequollener Tonstein

Laborversuch zum Zerfall des Gesteins



Wasserdurchlässigkeitsversuch am zerfallenen
Gestein (Darcy - Versuch)

PTB ABLAUFPLAN SCHACHTVERSCHLUß / ALTE BOHRUNGEN
UNTERSUCHUNGSPROGRAMM

